

File 351:Derwent WPI 1963-2006/UD=200654
(c) 2006 The Thomson Corporation

1/5/1
DIALOG(R)File 351:Derwent WPI
(c) 2006 The Thomson Corporation. All rts. reserv.

0004794285 - Drawing available
WPI ACC NO: 1989-165732/ 19 8922
Related WPI Acc No: 1994-074692; 1996-454720; 1997-235478
Automated laminography system for electronic component inspection - has
computer to control automated positioning system to analyse data
Patent Assignee: FOUR PI SYST CORP (FOUR-N); FOUR PI SYSTEMS (FOUR-N);
FOUR PI SYSTEMS CORP (FOUR-N)

Inventor: ADAMS J A; BAKER B D; COREY R; COREY R L; ROSS E W
Patent Family (10 patents, 12 countries)

Patent Number	Kind	Date	Application Number	Kind	Date	Update
WO 1989004477	A	19890518	WO 1988US3423	A	19881004	198922 B
EP 355128	A	19900228	EP 1988909919	A	19881004	199009 E
US 4926452	A	19900515	US 1987115171	A	19871030	199024 E
JP 2501411	W	19900517	JP 1988509124	A	19881004	199026 E
US 5081656	A	19920114	US 1987115171	A	19871030	199206 E
			US 1990463523	A	19900111	
US 5097492	A	19920317	US 1987115171	A	19871030	199214 E
			US 1990479092	A	19900212	
CA 1323453	C	19931019	CA 579869	A	19881012	199348 E
EP 355128	A4	19910717	WO 1988US3910	A	19881102	199517 E
EP 355128	B1	19960103	EP 1988909919	A	19881004	199606 E
			WO 1988US3423	A	19881004	
DE 3854865	G	19960215	DE 3854865	A	19881004	199612 E
			EP 1988909919	A	19881004	
			WO 1988US3423	A	19881004	

Priority Applications (no., kind, date): US 1990479092 A 19900212; US
1990463523 A 19900111; US 1987115171 A 19871030

Patent Details

Number	Kind	Lan	Pg	Dwg	Filing Notes
WO 1989004477	A	EN	113	24	
National Designated States,Original: JP					
Regional Designated States,Original: AT BE CH DE FR GB IT LU NL SE					
EP 355128	A	EN			
Regional Designated States,Original: AT BE CH DE FR GB IT LI LU NL SE					
US 5097492	A	EN	42		
CA 1323453	C	EN			
EP 355128	A4	EN			
EP 355128	B1	EN	60	24	PCT Application WO 1988US3423 Based on OPI patent WO 1989004477
Regional Designated States,Original: AT BE CH DE FR GB IT LI LU NL SE					
DE 3854865	G	DE			Application EP 1988909919 PCT Application WO 1988US3423 Based on OPI patent EP 355128 Based on OPI patent WO 1989004477

BEST AVAILABLE COPY

Alerting Abstract WO A

The tomographic inspection system has an electron beam (285) of microfocus X-ray tube (200) deflected in a circular scan pattern onto the tube anode (287) in synchronisation with a rotating detector (30) that converts the X-ray shadowgraph into an optical image and derotates the image so as to be viewed and integrated in a stationary video camera (258). A computer system (270, 272) controls an automated positioning system (230) that supports the item under inspection (210) and moves successive areas of interest into view. In order to maintain high image quality, a computer system also controls the synchronisation of the electron beam deflection and rotating optical system, making adjustments for inaccuracies of the mechanics of the system.

The computer system (270, 272) can also operate under program control to automatically analyse data, measure characteristics of the item under inspection (210) and make decisions regarding the acceptability of the item's quality.

USE/ADVANTAGE - Produces high resolution images in rapid succession suitable for use in conjunction with manufacturing production lines and capable of inspecting electronic devices (212), solder connections (214), printed wiring boards (210) and other assemblies.

Equivalent Alerting Abstract US A

The tomographic inspection system has the electron beam of a microfocus X-ray tube deflected in a circular scan pattern onto the tube anode in synchronisation with a rotating detector that converts the X-ray shadowgraph into an optical image and derotates the image to be viewed and integrated in a stationary video camera. A computer system controls an automated positioning system that supports the item under inspection and moves successive areas of interest into view.

To maintain high image quality, a computer system also controls the synchronisation of the electron beam deflection and rotating optical system, making adjustments for inaccuracies of the mechanics of the system. The computer system can also operate under program control to automatically analyse data, measure characteristics of the item under inspection and make decisions regarding the acceptability of the item's quality.

USE - Produces high resolution images in rapid succession to be suitable for use in conjunction with manufacturing production lines and capable of inspecting electronic devices, solder connections, printed wiring boards and other assemblies. (39pp)

Equivalent Alerting Abstract US A

The tomographic inspection system deflects the electron beam of a microfocus X-ray tube in a circular scan pattern onto the tube anode in synchronisation with a rotating detector that converts the X-ray shadowgraph into an optical image and derotates the image so as to be viewed and integrated in a stationary video camera. A computer system controls an automated positioning system that supports the item under inspection and moves successive areas of interest into view. Suitable for use in conjunction with manufacturing production lines and capable of inspecting electronic devices, solder connections, printed wiring boards and other assemblies. A computer system also controls the synchronisation of the electron beam deflection and rotating optical system, making adjustments for inaccuracies of the mechanics of the system.

The computer system can also operate under program control to automatically analyse data, measure characteristics of the item under inspection and make decisions regarding the acceptability of the item's quality. High resolution images are produced in rapid succession.

ADVANTAGE - Maintains high image quality. (11pp)t

Equivalent Alerting Abstract US A

The electron beam of a microfocus X-ray tube is deflected in a circular scan pattern onto the tube anode in synchronisation with a rotating detector that converts the X-ray shadowgraph into an optical image and derotates the image so as to be viewed and integrated in a stationary video camera. A computer system controls an automated positioning system that supports the item under inspection and moves successive areas of interest into view.

In order to maintain high image quality, a computer system also controls the synchronisation of the electron beam deflection and rotating optical system, making adjustments for inaccuracies of the mechanics of the system. The computer system can also operate under program control to automatically analyse data, measure characteristics of the item under inspection and make decisions regarding the acceptability of the item's quality.

ADVANTAGE - Produces high resolution images in rapid succession so as to be suitable for use in conjunction with manufacturing production lines and capable of inspecting electronic devices, solder connections, printed wiring boards and other assemblies. (42pp)

Title Terms/Index Terms/Additional Words: AUTOMATIC; LAMINOGRAPHY; SYSTEM; ELECTRONIC; COMPONENT; INSPECT; COMPUTER; CONTROL; POSITION; ANALYSE; DATA .

Class Codes

International Classification (Main): G01N-023/02

(Additional/Secondary): G01N-023/04, G01R-031/00, H04N-007/00

US Classification, Issued: 378022000, 250358100, 378025000, 378058000, 378099000, 378137000, 378145000, 378205000, 382008000, 378021000, 358101000, 378004000, 378058000, 378062000, 382008000, 378022000, 378004000, 378025000, 378058000, 378062000, 378099000, 378205000

File Segment: EPI;

DWPI Class: S03; U11; V04

Manual Codes (EPI/S-X): S03-E06B; U11-F01C; V04-R04A; V04-R06

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公表

⑪ 公表特許公報(A)

平2-501411

⑫ 公表 平成2年(1990)5月17日

⑬ Int. Cl.⁷
G 01 N 23/18
G 01 R 31/00

識別記号

庁内整理番号
7172-2G
7805-2G

審査請求 有
予備審査請求 未請求

部門(区分) 6(1)

(全 34 頁)

⑭ 発明の名称 エレクトロニクスの検査のための自動ラミノグラフィシステム

⑮ 特 願 昭63-509124

⑯ 出 願 昭63(1988)10月4日

⑰ 国政文提出日 平1(1989)6月30日

⑱ 国際出願 PCT/US88/03423

⑲ 国際公開番号 WO89/04477

⑳ 国際公開日 平1(1989)5月18日

優先権主張 ⑳ 1987年10月30日 ⑳ 米国(US) ㉑ 115,171

㉒ 発 明 者 ベイカー, ブルース・ディー アメリカ合衆国、92024 カリフォルニア州 オリベンハイン、ラ
ンチヨ・サンタ・フェ・ロード、250

㉓ 発 明 者 コウリ, ロバート・エル アメリカ合衆国、92129 カリフォルニア州 サン・ディエゴ、ヤ
ズー・ストリート、14441

㉔ 出 願 人 フォー・ビー・アイ・システム アメリカ合衆国、92127 カリフォルニア州 サン・ディエゴ、テ
ズ・コーポレーション クノロジー・プレイス、10905

㉕ 代 理 人 弁護士 深見 久郎 外2名

㉖ 指 定 国 AT(広域特許), BE(広域特許), CH(広域特許), DE(広域特許), FR(広域特許), GB(広域特許), IT
(広域特許), JP, LU(広域特許), NL(広域特許), SE(広域特許)

最終頁に続く

請求の範囲:

1. 電気部品(212)と可記部品212が上に設置さ
れている回路基板(210)との間の半田接続部(214)
の品質を検査および分析するための回路基板検査装置であ
って、前記回路基板検査装置が自動的に獲得され、デジタ
ル化されかつ分析される可記半田接続部(214)のX線
ラミノグラフィ断面画像を作成し、前記回路基板検査装置が、
電子ビーム(285)が射撃するターゲット(287)
の近き位置からX線(282)が放たれるX線ソース(2
0)と、

前記電子ビーム(285)を可記ターゲット(287)
の異なる位置に偏向するための電気ステアリング装置(2
81)とを含み、前記ステアリング装置(281)が前記
電子ビーム(285)を成る軸(40、404)に対して
回転させ、そして前記ターゲット(287)の上の實質的
に円形の経路をたどらせることができて、前記X線ソース
(20)を第1の円形パターンで動かし、前記第1の円形
パターンが第1の面(62)を規定し、さらに

前記半田接続部(214)と前記回路基板(210)を
透過した前記X線ソース(20)によって発生したX線
(282)を受取るために位置づけられたX線ディテクタ
(30)を含み、前記X線ディテクタ(30)は、

前記透過X線(282)によって形成され
たX線画像に対応する光学画像を作成するた

めの交換スクリーン(250)と、

前記軸(40、404)に対して回転しか
つ第2の円形パターンを規定する實質的に円
形経路に沿って進むように前記交換スクリー
ン(250)を動かすための手段(256)
とを含み、前記第2の円形パターンが前記第
1の面(62)と實質的に平行である第2の
面(64)を規定し、さらに

前記光学画像を前記回転交換スクリーン
(250)から静止光学画像面に伝送するた
めの光学系回転装置(252、254、25
6)と、

前記光学画像を検出するために前記静止光
学画像面に位置づけられたカメラ(258)
とを含み、前記カメラ(258)が前記光学
画像と対応する電子出力を有し、さらに

前記X線ソース(20)と交換スクリーン(250)の
円形運動を同期化するための制御システム(263、26
0)を含み、前記X線断面ラミノグラフィ画像の前記光学画
像装置が前記静止画像面で形成され、前記制御システムが、

前記第2の円形パターンに沿った前記交換
スクリーン(250)の位置をモニタしかつ
スクリーン位置と対応する経路を伝えるセン
サ(263)と、

前記センサ(263)から前記座標を受取って対応する信号を前記ステアリング装置(281)に伝えて、前記X線ソース(20)の動きを前記変換スクリーン(250)の前記写点と同期化させるルックアップテーブル(720x、720y)とを含む、さらに前記半田接続部(214)の前記断面画像を分析するためのデジタル画像処理システム(270、272)を含む、前記画像処理システム(270、272)が

前記カメラ(258)から前記電子画像信号を受取って、前記半田接続部(214)の前記X線断面画像と対応する前記画像のデジタル画像を形成する画像デジタイザ(270)と、

前記デジタル画像の所定領域をアクセスするようにかつ半田欠陥の特定の種類の特定フィチャを表示するために前記領域を所定の命令セットに従って分析するようにプログラムされたプログラム制御計算の部分(272)とを含む、

ことを特徴とする、装置。

2. 前記X線ソース(20)が準超可変電子ビームX線管(200)を含む、請求項1に記載の装置。
3. 前記電気ステアリング装置(281)が磁界を発生

の面(62、64)に関して約45°の角度で配向される、請求項7に記載の装置。

9. 前記第1の鏡(254)が前記変換スクリーン(250)から前記光学画像を受取って前記第2の鏡(252)に映して、前記第2の鏡(252)がさらに前記画像を前記静止画像面に映す、請求項8に記載の装置。
10. 前記第2の鏡(252)が前記回転軸(40、404)と交差する、請求項8に記載の装置。
11. 前記カメラ(258)が低レベルビデオカメラ(258)を含む、請求項1に記載の装置。
12. 前記低レベルカメラ(258)がシリコン強化ターゲット発光増倍管を含む、請求項11に記載の装置。
13. 前記デジタル画像処理システム(270、272)が複数の平行画像プロセッサ(272a、272b...272n)を含む、請求項1に記載の装置。
14. 前記回路基板(210)を動かすための位置決めテーブル(230)をさらに含む、請求項1に記載の装置。
15. 印刷回路基板(210)に装着されている電気部品(212)間の電気的接続部(214)を検査するための装置であって、前記電気接続部(214)の断面画像を作成するための画像システム(20、30)と、前記断面画像を分析するための画像分析システム(270、272)とを、特徴とする装置。

させるコイル(281x、281y)を含んで前記電子ビーム(285)と相互作用してそれを偏向させる、請求項1に記載の装置。

4. 前記変換スクリーン(250)がタングステン酸ドミニウムシンチレーション材料を含む、請求項1に記載の装置。

5. 前記断面画像が、前記第1および第2の鏡(62、64)と平行でありかつ前記回転軸(40、404)と交差する前記半田接続部214の面(60)と対応する、請求項1に記載の装置。

6. 前記半田接続部(214)の前記断面画像(60)が、前記断面画像(60)から前記第1の面(62)への距離が前記断面画像(60)から前記第2の面(64)への距離よりも小さいように前記X線ソース(20)と前記X線ディテクタ(30)の間に配置づけられている、請求項5に記載の装置。

7. 前記変換スクリーン(250)を動かすための前記手段が、前記軸(40、404)に対して回転しかつ前記変換スクリーン(250)が上に装着されている回転盤(256)をさらに含む、請求項1に記載の装置。

8. 前記光学非回転装置(252、254、256)が前記回転盤(256)に装着されている第1および第2の鏡(254、252)を含む、前記鏡(254、252)が前記回転軸(40、404)および前記第1および第2

16. 前記画像システム(20、30)がX線ソース(20)とX線ディテクタ(30)を含む、請求項15に記載の装置。

17. 前記画像システム(20、30)が前記電気接続部(214)のX線ミノグラフを作成する、請求項16に記載の装置。

18. 前記X線ミノグラフが前記電気接続部(214)に関して前記X線ソース(20)および前記X線ディテクタ(30)の動きによって作成される、請求項17に記載の装置。

19. 前記X線ソース(20)の前記動きが電気手段(281)によって発生され、前記X線ディテクタ(30)の前記動きが電子機械的手段(256)によって発生され、前記X線ソース(20)と前記X線ディテクタ(30)の動きが電気的フィードバックシステム(260)によって同期化および制御される、請求項18に記載の装置。

20. 前記X線ソース(20)と前記X線ディテクタ(30)の前記動きが実質的に円形であり、ソース面(52)とディテクタ面(64)を規定する、請求項18に記載の装置。

21. 前記ソース面(62)と前記ディテクタ面(64)が実質的に平行である、請求項20に記載の装置。

22. 前記画像システムがコンピュータ化された断層撮影システムを含む、請求項16に記載の装置。

23. 前記電気部品(212)が電気接続パッド(1150)を含み、前記回路基板(210)が電気接続パッド(1260)を含み、前記電気部品(214)が前記電気部品コネクタパッド(1160)と前記回路基板コネクタパッド(1360)との間に導電性のボンド(1360)を含む、請求項15に記載の装置。

24. 前記電気部品(214)が前記電気部品接続パッド(1160)と前記回路基板接続パッド(1260)との間に半田ボンド(1360)を含む、請求項23に記載の装置。

25. 前記画像分析システム(270、272)が前記断面画像に特定フィーチャを検出、請求項15に記載の装置。

26. 前記画像分析システム(270、272)が、前記画像の所定の位置で前記断面画像に対して所定のテストを行なうことによって前記特定のフィーチャを識別する、請求項25に記載の装置。

27. 前記特定フィーチャの1つが半田接続欠陥(1370)を含む、請求項26に記載の装置。

28. 前記画像分析システム(270、272)が前記半田ボンド(1360)を囲む境界に沿って一連の差分画像強度グレイ値を計算して前記差分グレイ値を所定のしきいグレイ値と比較する、請求項27に記載の装置。

29. 前記計算された差分画像強度グレイ値が前記しき

い値を越す前記境界に沿った位置を前記画像分析システム

(270、272)が前記半田接続欠陥(1370)として識別される、請求項28に記載の装置。

30. 前記特定フィーチャの1つが前記接続部(214)に存在する半田の量を含む、請求項26に記載の装置。

31. 前記画像分析システム(270、272)が、1つの前記半田接続部(214)の3つの異なる部分(1501、1502、1503)に所定する前記断面画像の3つの領域を規定し、前記3つの領域のそれぞれに対して平均画像強度(I_1 、 I_2 、 I_3)を計算し、前記平均画像強度を第1セットおよび第2セットの所定しきい値($Th_{1,1}$ 、 $Th_{1,2}$ 、 $Th_{1,3}$ 、 $Th_{2,1}$ 、 $Th_{2,2}$ 、 $Th_{2,3}$)と比較する、請求項30に記載の装置。

32. 前記平均強度が前記第1セットおよび第2セット両方のしきい値($Th_{1,1}$ 、 $Th_{1,2}$ 、 $Th_{1,3}$ 、 $Th_{2,1}$ 、 $Th_{2,2}$ 、 $Th_{2,3}$)よりも小さい場所を前記画像分析システム(270、272)が欠陥半田欠陥(1360f)として識別する、請求項31に記載の装置。

33. 前記平均強度が前記第1セットのしきい値よりも小さかつ前記第2のセットのしきい値よりも大きい場所を前記画像分析システム(270、272)が、不十分な半田欠陥(1360c)として識別する、請求項31に記載

の装置。

34. 対象物のX線ういノグラフを作成するための装置において、

ターゲット(287)に射突する電子ビーム(285)によってX線(282)が作成されるX線ソース(20)と、

前記電子ビーム(285)を前記ターゲット(287)の異なる位置に照射して位置を動かすための電気ステアリング装置(281)とを含み、前記X線(282)が前記X線ソース(20)によって発生され、さらに

前記X線ソース(20)によって発生されたX線(282)を受取るために位置づけられたX線ディテクタ(30)と、

前記X線ディテクタ(30)の位置を動かすための手段(256)と、

X線ソース(20)の動きをX線ディテクタ(30)の動きと同期化させるためのフィードバックシステム(260、263、265)とを、特徴とする装置。

35. テスト対象物(730)が前記X線ソース(20)と前記X線ディテクタ(30)との間に位置づけられたとき、前記X線ディテクタ(30)に画像を形成する前記テスト対象物(730)をさらに含む、請求項34に記載の装置。

36. 前記フィードバックシステム(260、263、265)が前記ディテクタ(30)の動きに寄与して前記電気ステアリング装置(281)を駆動して、前記テスト対象物(730)の前記画像が、前記X線ディテクタ(30)と前記X線ソース(20)が前記テスト対象物(730)と相対して動くにつれ前記X線ディテクタ(30)の所定位置に位置づけられる、請求項35に記載の装置。

37. 前記フィードバックシステム(260、263、265)が前記X線ソース(20)を第1の回転(40、404)に対して第1の内形経路を巡らせて第1の面(62)を形成し、

前記X線ディテクタ(30)を動かすための前記手段が、前記X線ディテクタ(30)を第2の回転(40、404)に対して第2の内形経路を巡らせて第2の面(64)を形成する、請求項34に記載の装置。

38. 前記第1の面(62)が前記第2の面(64)と実質的に平行である、請求項37に記載の装置。

39. 前記第1の面(40、404)が前記第2の面(40、404)と実質的に同軸である、請求項37に記載の装置。

40. 前記第1の内形経路と前記第2の内形経路が同じ回転軸(40、404)を実質的に寄しかつ前記第1および第2の面(62、64)が実質的に平行である、請求項37に記載の装置。

41. 印刷回路基板(210)に装着されている電気部

品(212)の間の電気的接続部(214)を検査する方法において、

前記電気接続部(214)の断面画像を発生させるステップと、

前記断面画像を分析するステップとを、特徴とする方法。

42. 前記断面画像を製作するステップが、X線ソース(20)でX線(282)を発生させるステップと、X線ディテクタ(30)でX線(282)を検出するステップをさらに含む、請求項41に記載の方法。

43. 前記断面画像を発生させるステップが、前記電気接続部(214)のX線ラミノグラフを作成するステップをさらに含む、請求項42に記載の方法。

44. 前記X線ラミノグラフを発生させるステップが、前記X線ソース(20)と前記X線ディテクタ(30)を前記電気接続部(214)に関して動かすステップをさらに含む、請求項43に記載の方法。

45. 前記X線ラミノグラフを発生させるステップがさらに、

前記X線ソース(20)を電気的手段によって動かすステップと、

前記X線ディテクタ(30)を電子機械的手段によって動かすステップと、

前記X線ソース(20)と前記X線ディテクタ(30)の動きを電気フィードバックシステム(260、263、

前記3つの領域(1501、1502、1503)のそれぞれに対して平均強度値(I_x 、 I_y 、 I_z)を計算するステップと、

前記平均強度値を第1セットおよび第2セットの所定しきい値($Th1_x$ 、 r 、 $Th1_y$ 、 r 、 $Th1_z$ 、 r 、 Thn_x 、 r 、 Thn_y 、 r 、 Thn_z 、 r)と比較するステップとを含む、請求項41に記載の方法。

51. 前記断面画像を分析するステップがさらに、前記平均強度値(I_x 、 I_y 、 I_z)が前記第1セットおよび第2セットしきい値の両方($Th1_x$ 、 r 、 $Th1_y$ 、 r 、 $Th1_z$ 、 r 、 Thn_x 、 r 、 Thn_y 、 r 、 Thn_z 、 r)より小さい場所を識別して、前記位置を欠陥半田欠陥として示すステップをさらに含む、請求項50に記載の方法。

52. 前記断面画像を分析するステップが、前記平均強度値(I_x 、 I_y 、 I_z)が前記第1セットのしきい値($Th1_x$ 、 r 、 $Th1_y$ 、 r 、 $Th1_z$ 、 r)よりも小さくかつ前記第2セットのしきい値(Thn_x 、 r 、 Thn_y 、 r 、 Thn_z 、 r)よりも大きい場所を識別して、前記位置を不十分な半田欠陥として示すステップをさらに含む、請求項50に記載の方法。

53. 対象物のX線ラミノグラフを作成する方法において、

X線(282)がターゲット(287)と対向する電子ビーム(285)によって発生するX線(282)のソー

ス(20)を設けるステップと、

前記電子ビーム(285)を前記ターゲット(287)の異なる部分に向け、前記X線ソース(20)によって発生する前記X線(282)の位置を動かすステップと、

前記X線ソース(20)によって発生したX線(282)をX線ディテクタ(30)によって検出するステップと、

前記X線ディテクタ(30)の位置を動かすステップと、

前記X線(282)の発生の前記位置の移動をフィードバックシステムで前記X線ディテクタ(30)の動きと同

期させるステップとを特徴とする、方法。

54. テスト対象物(730)が前記X線ディテクタ(30)に画像を形成するように前記テスト対象物(730)を前記X線ソース(20)と前記X線ディテクタ(30)との間に位置づけるステップをさらに含む、請求項53に記載の方法。

55. 前記ディテクタ(30)の動きに応じて前記フィードバックシステムを駆動させ、前記テスト対象物(730)の前記画像が、前記X線ディテクタ(30)とX線発生の前記位置が前記テスト対象物(730)と相対して動くにつれ、前記X線ディテクタ(30)の所定の位置に位置づけられるステップをさらに含む、請求項54に記載の方法。

56. 回路基板(210)の電気部品(212)の半田接続部(214)に半田接続欠陥を検出する方法において、

前記電気接続部(214)を囲む境界に沿って一連の差分強度値グレイ値(ΔG_{x1} 、 $y1$)を計算するステップと、

前記差分グレイ値(ΔG_{x1} 、 $y1$)を所定のしきいグレイ値(ΔG_{y1})と比較するステップとを含む、請求項41に記載の方法。

46. 前記断面画像を分析するステップが、前記断面画像において所定のフィーチャを検出ステップをさらに含む、請求項41に記載の方法。

47. 前記断面画像を分析するステップが、前記所定フィーチャを識別するために前記画像の所定位置で前記断面画像に所定のテストを行なうステップをさらに含む、請求項46に記載の方法。

48. 前記断面画像を分析するステップがさらに、

前記電気接続部(214)を囲む境界に沿って一連の差分強度値グレイ値(ΔG_{x1} 、 $y1$)を計算するステップと、

前記差分グレイ値(ΔG_{x1} 、 $y1$)を所定のしきいグレイ値(ΔG_{y1})と比較するステップとを含む、請求項41に記載の方法。

49. 前記計算された差分強度グレイ値が前記しきい値を超える前記境界に沿った場所を識別して、前記位置を半田接続欠陥として示すステップをさらに含む、請求項48に記載の方法。

50. 前記断面画像を分析するステップがさらに、

前記電気接続部(214)の3つの異なる部分(1501、1502、1503)と対応する前記断面画像の3つの領域を規定するステップと、

前記半田接続部(214)の断面画像(1360)を作成するステップと、

前記半田接続部(214)の前記断面画像(1360)を含む境界に沿って一定の差分画像強度グレイ値($\Delta G_{i,j}$)を計算するステップと、

前記差分グレイ値($\Delta G_{i,j}$)を所定のしきいグレイ値(ΔG_{th})と比較するステップと、

前記計算された差分画像強度グレイ値($\Delta G_{i,j}$)が前記しきい値(ΔG_{th})を超える前記境界に沿った場所を識別するステップとを含む、方法。

57. 図路基板(210)の電気部品(212)の間の半田接続部の半田欠陥を検出する方法において、

前記半田接続部(214)の断面画像を作成するステップと、

前記半田接続部(214)に対応する前記断面画像の領域(1501、1502、1503)を規定するステップと、

前記領域に対して平均画像強度(I_r 、 I_s 、 I_t)を計算するステップと、

前記平均画像強度(I_r 、 I_s 、 I_t)を第1セットおよび第2セットの所定しきい値($Th_{i,r}$ 、 $Th_{i,s}$ 、 $Th_{i,t}$ 、 $Th_{n,r}$ 、 $Th_{n,s}$ 、 $Th_{n,t}$)と比較するステップとを含む、方法。

58. さらに、

記録の方法。

60. 前記比較のステップが、前記第1の平均画像強度(I_r)に対応する第3の平均厚さ(T_r)、前記第2の平均画像強度(I_s)に対応する第2の平均厚さ(T_s)、および前記第3の平均画像強度(I_t)に対応する第3の平均厚さ(T_t)を計算するステップをさらに含む、請求項59に記載の方法。

61. 前記第1の平均厚さ(T_r)が前記第1のしきい値($Th_{n,r}$)より小さく、前記第2の平均厚さ(T_s)が前記第2のしきい値($Th_{n,s}$)よりも小さく、及び前記第3の平均厚さ(T_t)が前記第3のしきい値($Th_{n,t}$)よりも小さい場所を欠陥半田欠陥(1360c)として識別するステップをさらに含む、請求項60に記載の方法。

62. 前記半田接続部(214)の前記第1の部分(1501)に対応する第4の所定しきい値($Th_{i,r}$)、前記半田接続部(214)の前記第2の部分(1502)に対応する第5の所定しきい値($Th_{i,s}$)、および前記半田接続部(214)の前記第3の部分(1503)に対応する第6の所定しきい値($Th_{i,t}$)を規定するステップと、

前記第1の平均画像強度(I_r)を前記第1および第4の所定しきい値($Th_{n,r}$ 、 $Th_{i,r}$)と、前記第2の平均画像強度(I_s)を前記第2および第5の所定しきい値($Th_{n,s}$ 、 $Th_{i,s}$)と、前記第3の平均画像強度(I_t)を前記第3および第6の所定しきい値($Th_{n,t}$ 、 $Th_{i,t}$)とで比較するステップとを含む、請求項59に記載の方法。

前記断面画像の領域内に第1の部(1601)、第2の部(1602)、および第3の部(1603)を規定するステップを含む、前記第1の部が前記半田接続部(214)の第1の部分(1501)に対応し、前記第2の部が前記半田接続部(214)の第2の部分(1502)に対応し、そして前記第3の部(1603)が前記半田接続部(214)の第3の部分(1503)に対応し、さらに

前記第1の部(1601)に対応する第1の平均画像強度(I_r)と、前記第2の部(1602)に対応する第2の平均画像強度(I_s)と、前記第3の部(1603)に対応する第3の平均画像強度(I_t)とを計算するステップを含む、請求項57に記載の方法。

59. 前記半田接続部(214)の第1の部分(1501)に対応する第1の所定しきい値($Th_{i,r}$)、前記半田接続部(214)の前記第2の部分(1502)に対応する第2の所定しきい値($Th_{i,s}$)、および前記半田接続部(214)の前記第3の部分(1503)に対応する第3の所定しきい値($Th_{i,t}$)を規定するステップと、

前記第1の平均画像強度(I_r)を前記第1の所定しきい値($Th_{i,r}$)と、前記第2の平均画像強度(I_s)を前記第2の所定しきい値($Th_{i,s}$)と、前記第3の平均画像強度(I_t)を前記第3の所定しきい値($Th_{i,t}$)とで比較するステップとをさらに含む、請求項58に記載の方法。

63. 前記半田接続部(214)の前記第1の部分(1501)に対応する第4の所定しきい値($Th_{i,r}$)、前記半田接続部(214)の前記第2の部分(1502)に対応する第5の所定しきい値($Th_{i,s}$)、および前記半田接続部(214)の前記第3の部分(1503)に対応する第6の所定しきい値($Th_{i,t}$)を規定するステップと、

前記第1の平均厚さ(T_r)が前記第4のしきい値($Th_{i,r}$)より小さくかつ前記第1のしきい値($Th_{n,r}$)より大きく、前記第2の平均厚さ(T_s)が前記第5のしきい値($Th_{i,s}$)より小さくかつ第2のしきい値($Th_{n,s}$)より大きく、前記第3の平均厚さ(T_t)が前記第6のしきい値($Th_{i,t}$)より小さくかつ前記第3のしきい値($Th_{n,t}$)より大きく場所を不十分な半田欠陥(1360c)として識別するステップとをさらに含む、請求項60に記載の方法。

特 許 審 判
エレクトロニクス検査のための
自動ラミノグラフィシステム

発明の分野

この発明は一般に断層撮影法の技術に関し、特に製造された電子部品の高速、高解像度検査のためのコンピュータ化されたラミノグラフィシステムに関する。

発明の背景

電子部品の半田付けおよび組立に対する高速で正確な品質管理検査はエレクトロニクスの製造産業において主要課題になっている。部品及び半田接続部の検査した寸法、回路基板の上の部品の増大した実装密度、および半田接続部を視覚から隠された電子パッケージの下に置く表面実装技術(SMT)の到来は、電子部品および電子回路の電気的接続部の迅速で正確な検査が製造環境において行なうのを非常に難しくした。

電子部品および接続部の多くの互容の検査システムは、電子および接続部の内部構造を露わす特徴を示す画像を形成するために透過放射を利用している。これらのシステムは透過放射がX線を含む従来のラジオグラフィック技術をしばしば使っている。たとえば胸、腕、脚、背骨、など人体の種々の部分の医学X線写真はおよそ従来のラジオグラフィック画像の最もなじみやすい例であろう。形成された画像または写真は、検査される対象物がX線のビームによって照らされた際にできるX線陰影を露わす。X線陰影

して普通は異なるので、種々の半田接合内の半田欠陥の形、大きさおよび位置を正確に判断するための十分な仮定を立てるのは非常に複雑でありしばしばほとんど不可能である。

これらの欠点を補償する試みとして、いくつかのシステムは対象物を複数の角度から見る機能を組み込んでいる。この付加的機能はX線陰影投影画像にある曖昧さを部分的に解決させることができる。しかし、複数の観測角度の使用は複雑な機械的取扱いシステムを必要とし、しばしばうちの独立した非直交の運動軸を要求する。この機械的複雑さのレベルは増大した経費、増大した大きさおよび重さ、より長い検査時間、低下したスループット、機械的複雑性による損なわれる位置決め精度、運動軸の非直交性によるキャリブレーションおよびコンピュータ制御の複雑性をもたらす。

上記で説明した従来のラジオグラフィック技術に関連する多くの問題は、検査する対象物の断面画像を作ることによって軽減することができる。ラミノグラフィックやコンピュータ化断層撮影法(CT)のような断層撮影技術はしばしば医学の応用において使われて断層画像または人体部分画像を作り出す。医学の応用では、これらの技術は広く成功を収めているが、その理由は主として1または2mm(0.04から0.08インチ)の厚板の比較的低い解像度で満足できるからでありかつ速度およびスループット要件が対応する産業環境ほど厳しくないからである。しかし、検査の精

特 許 平 2-501411(6)

度はフィルムなどのようなX線感光材料または他の適切な手段によって検出および記録される。

X線陰影またはラジオグラフィの外見は対象物の内部的構造特性によって決定されるだけでなく、入射するX線が対象物に当たる方向によっても決まる。したがって、X線陰影画像の完全な解釈および分析は、人間によって視覚的に行なわれるまたはコンピュータによって数値的に行なわれるどちらにしろ、対象物の特性およびX線ビームに対する配向に関して特定の仮定が必要である。たとえば、対象物の形、内部構造など、また対象物に対する入射X線の方角に関して特定の仮定を定めることはしばしば必要である。これらの仮定に基づいて、X線画像の特性は分析されて画像フィッチを作成した対象物の対応する構造的特徴、たとえば半田付け接続部の欠陥の位置、寸法、形などが決定される。これらの仮定によってしばしば曖昧さが生じ、画像の解釈およびX線陰影画像の分析に基づいた決定の信頼性を低下させる。従来のラジオグラフィの分析においてこのような仮定の使用から生ずる主要な誤差の一つは、対象物内の構造的特徴の小さな変形、例えば半田接合部内の欠陥の形、密度、および大きさは、しばしば半田接合部自身の、さらに隣接する半田接合部、電子部品、回路基板およびその他の物体の重なった陰影(over shadowing)のかたまりによってしばしばマスクされる。重なった陰影の減および隣接する物体はそれぞれの半田接合部に対

応および/または深度における欠陥が原因で誤差の原因では商業的成功を収めたラミノグラフィ検査システムはない。これは既存のラミノグラフィシステムが産業的検査問題を解決するのに必要な高度な位置づけ精度および画像解像度を達成しつつ生産環境において実用的であるために必要な速度での操作が不可能であったからである。

エレクトロニクス検査の場合、そしてより特定の半田接合のような電気的接続部の検査のために、幾μmの等級の画像解像度、たとえば20μm(0.0008インチ)が必要である。さらに、産業的半田接合検査システムは産業的生産ラインで使用するのに実用的であるためには毎秒多数の画像を発生させなければならない。こうして、ラミノグラフィシステムはエレクトロニクス検査に必要なスピードおよび精度要件を達成することができなかった。

断面画像を製作するためのラミノグラフィシステムはいくつかの形をとっている。1つのシステムが「ラミノグラフィ装置」LAMINOGRAPHIC INSTRUMENTと題された米国特許第3,928,769号で説明されている。そこで説明されている放射ソースおよびディテクタは機械的に結合されてソースおよびディテクタの必要な反転および同期動作を達成する。この形式のシステムは放射ソース、検査する対象物およびディテクタを含む高い質量要素のいくつかの組合わせである比較的高い質量を動かさなければならないという欠点がある。X線管や

カメラ装置が流れるときはこれは倍に難しくなる。このシステムの速度は、これらの比較的大きな量を迅速にまた正確に動かすのが非常に難しいという事実によって難しく制限されている。このシステムはまた多くの複雑な動く部分の時間の経過に伴う不正誤および劣化によって、用いられる解像度に制限がある。

「コンピュータ化断層撮影システム」"COMPUTERIZED TOMOGRAPHY SYSTEM"と題された米国特許第4,211,927号で説明されている別のシステムでは、放射ソースおよびディテクタの連続動作はタイミングが同じコンピュータによって制御されている別のステップモータによって電子的に制御されている。各製品の動作はそれぞれの所定の中央キャリブレーション位置を基準にする。こうして、ソースおよびディテクタが同じコンピュータによって駆動されているが、ソースの位置をディテクタの位置と相対させる直接のリンクはない。このシステムの性能は質量をもった放射ソースおよびディテクタが駆動されるスピード、および可動部分の精度、同期、安定性によっても制限されている。

「人体断層を画像化するための装置」"DEVICE FOR IMAGING LAYERS OF A BODY"と題された米国特許第4,316,252号では、それぞれが異なる位置で開閉が与えられて固定されている複数の放射ソースが単一の駆動ソースの代わりに使われて

いる。画像ディテクタの位置は放射ソースの移動に伴って同期して電子的に動かされる。このアプローチは放射ソースおよびディテクタを機械的に動かす固有の問題をなくすが、複数の放射ソースを必要とするコストという欠点を負う。特製の固体品であり、放射ソース位置の可動性によってピンポイント精度の望ましいブレが連続的ではなくやや不連続であるので低下する。したがって不要なフィーチャが複数個のはっきりしたアーティファクトとして画像に残る。

「人体断層のスクリーン画像を作成するための装置」"DEVICE FOR PRODUCING SCREENING IMAGES OF BODY SECTIONS"と題された米国特許第2,667,585号は停止したX線管を示し、放射ソースの動きはX線管の電子ビームの射電偏向によって与えられ、電子ビームが平坦なターゲットアノードの表面の上の経路をトレースさせる。X線管の反対側には電子光学を含むディテクタ画像管があり、結晶の電子画像を停止ディテクタに偏向させる。X線管の偏向回路および画像管の偏向回路はX線ソースの動きおよびディテクタの結晶の画像の偏向を同時に駆動させるために同じ電圧源から駆動されている。このようにこのシステムは放射ソースおよびディテクタを機械的に動かすのに関連した欠点の多くを避ける。しかし、このシステムはビームがターゲット表面の上を滑りながら電子ビームの焦点およびエネルギーを一貫して維持する設備はない。これはX

線スポットを大きくおよび強度両方において変化させ、デバイスで得ることができる解像度を著しく制限する。電子画像を偏向するための電子光学の使用もこのデバイスで得られる解像度を制限する。画像が広い角度で偏向されるとこの問題は倍に難しくなる。同時に、X線スポットを位置づける精度もビームが低い角度で偏向されると失われる。これらの問題は実質的にこの技術で得られる解像度を制限する。さらに、この技術は比較的小さい画角の範囲の動作のみ実質的であり、不要なフィーチャの望ましい断層放射的ブレ効果を増加して結果として焦点の面に対して正規の方向の解像度を制限する。

上記で説明したラミノグラフィシステムのすべては人体断層ラミノグラフィを行なうことに向けられており、そのため、迅速に連続した高解像度画像を作成するためには設計されていない。さらに、このようなシステムは遅延したデュティサイクルあるいはエレクトロニクスの製造と一致する環境で動作する必要はない。

現在使われているエレクトロニック検査システムに見られる多くの不都合は高解像度、高速ラミノグラフィシステムによって克服することができる。このようなシステムは特に電子アセンブリでの半田接合のような電気的接続部の検査に適する。半田接合の高解像度ラミノグラフィは検査の品質を示す半田接合におけるフィーチャをはっきりと明らかにすることができる。残念ながら、ラミノグラフィ技術を開発

環境環境で使う試みは多く行なわれてきたが、今までのシステムは低い画像解像度または禁止的に長い検査時間またはこの両方が原因で最適な性能に達していない。解像度を向上させるために使われた今までの技術は常に長い検査時間に帰着していた。同時に、検査時間を減らすために使用された今までの技術は画像解像度を一般に犠牲にしていた。したがって産業環境においてエレクトロニクスを検査することができる高速で、高解像度の装置ラミノグラフィシステムの必要性がある。

発明の要約

本発明は印刷回路基板上に配置されている電子部品間の電気的接続部の検査のための装置および方法に向けられている。この発明は断層部の断層画像を作成し、それがコンピュータ断層画像分析システムによって分析される。断層画像は自動的に分析され接続部の欠陥を識別してその位置を抜き、接続部の工程特性を決定する。欠陥の位置および種類または工程特性を示す画像分析の報告が用意されてユーザに呈示される。

より特定の、本発明は印刷ワイヤリング基板アセンブリおよびその他の電子素子とアセンブリの上の半田接合のための自動ラミノグラフィ検査システムを提供する。中央データ処理および制御ユニットが検査する部品を位置づけ、ラミノグラフィ画像の形成を制御し、画像データを分析し、画像データの分析に基づいて検査している部品の特性および

び受容量に関して決定を下し、検査工程の結果をユーザに伝える。

本発明の検査システムは、代替システムおよび方法に対していくつかの重大な利点を有する。したがって、本発明の性能が、これらの代替システムおよび方法に対して優れているのは、一部は、画像の高解像度、画像の断面フォーマット、画像の自動的過渡入手および分析によるためである。

この発明は有利にX線ラミノグラフの技術を使って高解像度断面画像を得る。この発明は不必要な複雑な運動に頼ることなくアーティファクトのラミノグラフのブレを最適化するために放射ソースおよびディテクタの円形運動を用いる。放射ソースの正確な円形回転は、静止X線管内の電子ビームがX線管のアノードに円形の経路を描かせることによって成し遂げられ、放射ソースの回転に関連する移動部分をなくす。ラミノグラフ画像を発生させるために必要な唯一の機械的動作はディテクタの回転である。キャリアプレートされたフィードバックシステムは、ラミノグラフ画像の形成中の回転X線ソースおよびディテクタの整列および同期化に影響するシステムの機械的部品における不正誤差を補償することによってシステムの精度をさらに向上させる。フィードバックシステムはディテクタの位置をX線ソースの位置と統合させて画像の取得中のソースおよびディテクタの連続した正確な整列を確保にする。

せることによって、回転ソーススポットおよび蛍光スクリーンの正確な整列を維持する。このフィードバック技術は、精密位置エンコーダによって決定される回転盤の実際の位置に基づいてX線ソースの偏向回路に発行されるべき精度信号を収容する座標のルックアップテーブルをメモリにストアすることによって、先行技術のラミノグラフシステムよりもより高い精度を可能とする。フィードバックシステムは位置エンコーダから回転盤の位置を収容する入力データを受取り、ルックアップテーブルから対応する座標を検索し、それに応じてX線管の偏向回路を駆動させる。ソーススポットおよび回転盤の整列は適切な座標のルックアップテーブルを発生させる半導体回路的にキャリアプレートされる。こうしてラミノグラフシステムの精度は、回転盤の回転の速度、回転盤の整合、ターゲットアノードの形および調整ジオメトリを決定する他の複雑なパラメータの小さな不精度及び変化にかかわらず維持されている。

印刷ワイヤ基板または検査する物の対象物はコンピュータ制御によって自動的に操作することが出来る機械的取扱いシステムの上に支持され、対象物の望ましい部分を鏡測下に順々に持ってくるような順序で対象物を動かす。

X線ラミノグラフシステムによって得られた半田接合の高解像度断面画像は自動的に分析される。強力なコンピュータシステムが、半田接合の断面画像の取得を効率的にまた自動的に制御するために、画像の輪線を測るために、そ

本発明の高解像度断面ラミノグラフ検査システムは、高い検査速度と次の理由によって維持しながら、半田接合部、電子部品およびその他のアセンブリの高解像度断面画像を生成する。回転するX線ソースおよびディテクタは回転するX線シャドーフラウドグラフィックを作成してX線画像を可視光画像に変換する蛍光スクリーンディテクタの上に結露する。X線ソースの回転は電子的に生成され、したがって不正誤差で複雑な機械的機構をなくす。蛍光スクリーンは回転X線ソースと反対に位置づけられている回転盤で支えられている。スクリーンは回転X線ソースの軌跡によって規定される平面に平行な平面で回転し、X線ソースと共通の回転軸に対して回転する。回転盤の上にはさらに、蛍光スクリーンの両端を動かすカメラによって観測させる2つの鏡を含む光學系回転アセンブリが設置されている。こうして断面画像を形成するために必要な唯一の機械的動作は回転盤の回転であり、これは一定の速度で回転でき、システムの機械的寿命をかなり簡単にする。

画像解像度は検査する対象物の幾何学的歪みを与えるように配置されている微小焦点X線ソースを使うことによってさらに向上される。

ソースおよびディテクタの正確な整列は高解像度画像の作成に貢献し、フィードバックシステムによって維持されている。フィードバックシステムはX線管内の電子ビームの偏回回路を回転している回転盤の位置と同期して駆動さ

の特性を半田欠陥の特定の種類と関連づけてそれに応じて品目の品質の受容性に関して決定を下すために、平行処理を用いる。画像分析の結果は出力フォーマットのいかなる変形においてもユーザに伝えられる。

本発明の1つの局面は、電気的部品および部品が検査されている回路基板との間の半田接合部の品質を検査および分析するための回路基板検査装置である。回路基板検査装置は半田接合部のX線ラミノグラフ断面画像を作成する。画像は自動的に取得、デジタル化および分析される。回路基板検査装置はX線ソースを含み、電子ビームが射撃するターゲットの位置からX線が放射される。電気ステアリング装置が電子ビームをターゲットの異なる位置に偏向させる。ステアリング装置は電子ビームを軸に対して回転させてターゲット上の実質的に円形の経路をトレースさせることができ、X線ソースを第1の円形パターンで移動させる。第1の円形パターンは第1の面を規定する。

回路基板検査装置は半田接合部および回路基板を透過したX線ソースによって生じたX線を受けるために位置づけられるX線ディテクタを含み、X線ディテクタは透過X線によって形成されたX線画像に対応する光學画像を作成する蛍光スクリーンを含む。X線ディテクタはさらに、軸に対して回転し第2の円形パターンを規定する実質的に円形の経路に沿って移動するように蛍光スクリーンを移動させるための手段を含む。第2の円形パターンは第1の面

に対して同時に平行である第2の面を決定する。X線ディテクタはさらに回転変換スクリーンからの光学画像を静止光学画像面に伝送する光学非回転装置を含む、さらに光学画像を放出するために静止光学画像面に位置づけられているカメラを含む。カメラは光学画像に対応する電子出力を有する。

回路基板装置は、X線断面ラミノグラフ画像の光学画像が静止画像面で形成されるように、X線ソースおよび変換スクリーンの両者の運動を同期化させるための制御システムを含む。制御システムは第2の円形パターンに沿って変換スクリーンの位置をモニタし、スクリーン位置に対応する座標を伝えるセンサを含む。制御システムはさらにセンサから座標を受取り対応する信号をステアリング装置に伝えるルックアップテーブルを含む、X線ソースの運動を変換スクリーンの運動と同期させる。

回路基板装置は半田検査部の断面画像を分析するためのデジタル画像処理システムをさらに含む。画像処理システムは、カメラからの電子画像信号を受取り半田検査部のX線断面画像と対応する画像のデジタル表現を形成するための画像デジタイザを含む。画像処理システムは、デジタル画像の所定領域をアクセスしかつ半田欠陥の特定の種類を示す特定のフィーチャの所定のいずれかの命令に従って画像を分析するためにプログラムされたプログラム可能制御計算セクションを含む。

板を動かすための位置決めテーブルを含む。

本発明の他の局面は、印刷回路基板の上に装着されている電気部品間の電気的接続部を検査するための装置である。装置は電気的接続部の断面画像を作成するための画像システムと、断面画像を分析するための画像分析システムとを含む。好ましくは、画像システムはX線ソースおよびX線ディテクタを含む。さらに好ましくは、画像システムは、電気的接続部に関してX線ソースおよびX線ディテクタの運動によって作成される電気接続部のX線ラミノグラフを作成する。X線ソースの動きは電気的手段によって発生され、X線ディテクタの動きは電子機械的手段によって発生される。X線ソースおよびX線ディテクタの動きは電気的フィードバックシステムによって同期化および制御される。好ましくは、X線ソースおよびX線ディテクタの動きは電気的に制御でありソース面およびディテクタ面を決定する。特定の好ましい実施例では、ソース面およびディテクタ面は実質的に平行である。

この発明のこの局面の代替の実施例では、画像システムはコンピュータ化された断面検影システムを含む。

この発明のこの局面は、電気的部品が電気接続パッドを含む、回路基板が電気接続パッドを含むところで特に有用である。電気接続部は電気的部品コネクタパッドと回路基板コネクタパッドとの間に導電性のボンドを含む。たとえば、電気接続部は電気的部品接続パッドおよび回路基板接

この発明の好ましい実施例では、X線ソースは回転可能電子ビームX線管を含む。さらに好ましくは、電気ステアリング装置はコイルを含む、磁界を生成させて電子ビームと相互作用してそれを偏向させる。特定の好ましい実施例では、変換スクリーンはタンタラム酸カドミウムレンテレーション材料を含む。

好ましくは、断面画像は第1および第2の面と平行で回転軸と交差する半田検査部の面と対応する。半田検査部の画像面はX線ソースとX線ディテクタの間に位置づけられて画像面から第1の面への距離が画像面から第2の面への距離よりも小さい。

好ましくは、変換スクリーンを動かすための手段は、特にに対して回転しかつ上に変換スクリーンが装着されている回転盤をさらに含む。光学非回転装置は回転盤に装着されている第1および第2の鏡を含む。鏡は回転軸に関してまた第1および第2面に沿って約45°の角度で配向されている。第1の鏡は変換スクリーンから光学画像を受取り第2の鏡に映す。第2の鏡は画像をさらに静止画像面に映す。さらに好ましくは、第2の鏡は回転軸と交差する。

特定の好ましい実施例では、カメラは低い光レベルビデオカメラを含む。低い光レベルカメラはシリコン強化ターゲット増倍管を含む。さらに好ましくは、デジタル画像処理システムは複数の平行画像処理装置を含む。

この発明のこの局面に従って、装置は好ましくは回路基

板パッドとの間に半田ボンドを含むこともできる。

この発明のこの局面の好ましい実施例では、画像分析システムは断面画像において特定のフィーチャを検査する。画像分析システムは画像の所定の位置で断面画像に対して所定のテストを行なうことによって特定のフィーチャを識別する。たとえば、特定のフィーチャの1つは半田接続欠陥を含むかもしれない。画像分析システムは半田ボンドを囲む境界に沿って一連の差分画像強度グレイ値を計算し、差分グレイ値を所定のしきいグレイ値と比較する。半田接続欠陥は画像分析システムによって、差分画像強度グレイ値がしきい値を超える境界に沿った箇所において識別される。特定フィーチャの他の例は接続部に存在する半田の量である。この例では、画像分析システムは半田接続部の3つの異なる部分に対応する断面画像の3つの領域を規定し、3つの領域のそれぞれに対して平均画像強度を計算し、平均画像強度を第1セットおよび第2セットの所定しきい値と比較する。画像分析システムは、平均強度が第1セットおよび第2セットの両方より小さい箇所を欠陥半田欠陥として識別する。代わりに、画像分析システムは平均強度が第1セットのしきい値より小さくかつ第2セットのしきい値よりも大きい箇所を不十分な半田の欠陥として識別する。

本発明の別の局面は、対象物のX線ラミノグラフを作成するための装置である。装置はX線ソースを含む、そのX線はターゲットに射撃する電子ビームによって作られ、ま

らに電気スタアリング装置を含み、電子ビームをターゲットの異なる部分に偏向してX線ソースによって作られるX線の位置を移動させる。装置はX線ソースによって作成されたX線を受取るために位置づけられたX線ディテクタをさらに含む。またX線ディテクタの位置を移動させるための手段も含む。装置はさらに、X線ソースの動きをX線ディテクタの動きと同期化させるためのフィードバックシステムをも含む。好ましくは、装置はテスト対象物を含み、テスト対象物がX線ソースとX線ディテクタの間に位置づけられたときにX線ディテクタに画像を形成する。フィードバックシステムは、X線ディテクタおよびX線ソースがテスト対象物に相対して動くにつれテスト対象物の画像がX線ディテクタの上の所定の位置に位置づけられるようにディテクタの動きに反応して、電気的スタアリング装置を駆動させる。

この発明のこの局面の好ましい実施例において、フィードバックシステムはX線ソースが第1の面を形成する第1の回転軸に対して第2の円形経路を進み、そしてX線ディテクタを動かす手段はX線ディテクタが第2の面を形成する第2の回転軸に対して第2の円形経路を進ませる。好ましくは、第1の面は第2の面に対して実質的に平行である。さらに好ましくは、第1の軸は第2の軸に対して実質的に同一広がりであり、第1の円形経路および第2の円形経路は実質的に同じ回転軸を有する。

る境界に合った箇所を識別し、半田接続欠陥の位置を示すステップを含む。

代替として、断面画像を分析するステップは、電気接続部の3つの異なる部分との対応する断面画像の3つの領域を規定するステップと、3つの領域のそれぞれの平均画像強度を計算するステップと、平均画像強度を第1セットおよび第2のセットの所定しきい値と比較するステップとを含む。断面画像を分析するステップは、平均強度が第1セットおよび第2セットの両しきい値よりも少ない箇所を識別し、その位置が欠陥した半田欠陥として示すステップとを含む。代替として、断面画像を分析するステップは、平均強度が第1セットのしきい値よりも小さくかつ第2セットのしきい値よりも大きい場所を識別しその位置を不十分な半田欠陥として示すステップとを含む。

本発明のさらに他の局面は、対象物のX線ラミノグラフを作成する方法であり、X線がターゲットに射撃する電子ビームによって作られるX線ソースを動かすステップと、電子ビームをターゲットの異なる位置に向けて、X線がX線ソースによって作成される位置を動かすステップとを含む。この方法はさらに、X線ディテクタでX線ソースによって作られたX線を検出し、X線ディテクタの位置を動かす、フィードバックシステムでX線の発生の位置の動きをX線ディテクタの動きと同期化させるステップとをさらに含む。

本発明のさらに他の局面は、印刷回路基板の上に設置された電気部品間の電気接続部を生成する方法である。この方法は電気接続部の断面画像を生成させるステップと断面画像を分析するステップを含む。好ましくは、断面画像を生成させるステップは、X線ソースでX線を生成するステップと、X線ディテクタでX線を検出するステップと、電気的接続部のX線ラミノグラフを作成するステップとを含む。X線ラミノグラフを作成するステップは、X線ソースおよびX線ディテクタを電気接続部に関して動かすステップをさらに含む。X線ラミノグラフを作成するステップは、さらに電気的手段によってX線ソースを動かすステップと、電子線銃的手段によってX線ディテクタを動かすステップと、X線ソース及びX線ディテクタの動きを電気的フィードバックシステムによって同期させるステップとを含む。

この発明のこの局面に従った好ましい方法では、断面画像を分析するステップは、断面画像における特定フィーチャを検出ステップと、特定フィーチャを識別するために画像の所定位置で断面画像に対して所定のテストを行なうステップをさらに含む。

断面画像を分析するステップは有利的に、1つの電気的接続部を囲む境界に合った一連の差分画像強度グレイ値を計算するステップと、差分グレイ値を所定のしきいグレイ値と比較するステップとを含む。この方法はさらに好ましくは、計算された差分画像強度グレイ値がしきい値を超える

好ましくは、この発明のこの局面に従ったこの方法は、X線ソースとX線ディテクタの間にテスト対象物を位置づけテスト対象物がX線ディテクタの上に画像を形成するステップをさらに含む。この方法は、テスト対象物の画像がX線ディテクタとX線作成の位置がテスト対象物に相対して動くにつれX線ディテクタの上の所定の位置に位置づけられるようにディテクタの動きに反応してフィードバックシステムを駆動させるステップをさらに含む。

本発明の別の局面は、回路基板の上の電気的部品間の半田接続部の半田接続欠陥を検出する方法である。この方法は、半田接続部の断面画像を作成するステップと、半田接続部の断面画像のまわりを囲む境界に合った一連の差分画像強度グレイ値を計算するステップと、差分グレイ値を所定のしきいグレイ値と比較するステップと、計算した差分画像強度グレイ値がしきい値を超えるボーダに合った箇所を識別するステップとを含む。

本発明のさらに他の局面は、回路基板の上の電気的部品の間の半田接続部に半田欠陥を検出するステップを含む。この方法は、半田接続部の断面画像を作成し、半田接続部に対応する断面画像の領域を規定し、その領域に対する平均画像強度を計算し、平均画像強度を第1セットおよび第2セットの所定しきい値と比較するステップを含む。好ましくは、この方法はさらに断面画像の領域内における第1の窓、第2の窓、および第3の窓を規定するステップを含む。

む。第1の窓は半田接続部の第1の部分と対応し、第2の窓は半田接続部の第2の部分と対応し、第3の窓は半田接続部の第3の部分と対応する。この方法は好ましくは、第1の窓に対応する第1の平均面像強度、第2の窓に対応する第2の平均面像強度、および第3の窓に対応する第3の平均面像強度を計算するステップを含む。この方法は好ましくは、半田接続部の第1の部分と対応する第1の所定しきい値、半田接続部の第2の部分と対応する第2の所定しきい値、及び半田接続部の第3の部分と対応する第3の所定しきい値を規定するステップを含む。この方法は第1の平均面像強度を第1の所定しきい値と、第2の平均面像強度を第2の所定しきい値と、そして第3の平均面像強度を第3の所定しきい値と比較するステップを含む。比較のステップはさらに、第1の平均面像強度と対応する第1の平均厚さ、第2の平均面像強度と対応する第2の平均厚さ、及び第3の平均面像強度と対応する第3の平均厚さを計算するステップを含む。この方法は好ましくは、第1の平均厚さが第1のしきい値よりも小さく、第2の平均厚さが第2のしきい値よりも小さく、及び第3の平均厚さが第3のしきい値よりも小さい箇所を欠陥した半田欠陥として識別するステップを含む。

この方法はさらに、半田接続部の第1の部分と対応する第4の所定しきい値、半田接続部の第2の部分と対応する第5の所定しきい値、半田接続部の第3の部分と対応する

第6の所定しきい値を規定するステップと、第1の平均面像強度を第1および第4の所定しきい値と、第2の平均面像強度を第2および第5の所定しきい値と、そして第3の平均面像強度を第3および第6の所定しきい値と比較するステップとを含む。

代替としてこの方法は、半田接続部の第1の部分と対応する第4の所定しきい値、半田接続部の第2の部分と対応する第5の所定しきい値、半田接続部の第3の部分と対応する第6の所定しきい値を規定するステップと、第1の平均厚さが第4のしきい値よりも小さくかつ第1のしきい値よりも大きく、第2の平均厚さが第5のしきい値よりも小さくかつ第2のしきい値よりも大きく、第3の平均厚さが第6のしきい値よりも小さくかつ第3のしきい値よりも大きい箇所を不十分な半田欠陥として識別するステップとを含む。

本発明のこれらの特徴およびその他の特徴は添付の図面を参照することによって明らかとなる。

図面の簡単な説明

第1図はこの技術の原理を示すラミノグラフィシステムの概略的な表示である。

第2a図は矢印、円、十字が3つの異なる厚さ位置で対応物にうめ込まれている対象物を示す。

第2b図は矢印を含む面の上に焦点合わせされている第2a図の対象物の断面放射線写真を示す。

第2c図は円を含む面の上に焦点合わせされている第2a図の対象物の断面放射線写真を示す。

第2d図は十字を含む面の上に焦点合わせられた第2a図の対象物のラミノグラフィを示す。

第2e図は第2a図の対象物の従来の二次元X線放射線像を示す。

第3a図はこの発明の画像形成装置の第1の好ましい実施例の横断面図であり、ラミノグラフィがカメラによってどのように形成され認識されるかを示す。

第3b図は第3a図で示されている装置の拡大上面図を示す。

第3c図は第3a図で示されているこの発明の実施例の斜視図である。

第4図は好ましい実施例で使うためのX線のソースの回転スポットを有するX線管の図面を示す。

第5図は第4図で示されているX線管のターゲットアノードの断面図である。

第6図は回転X線ディテクタおよびカメラシステムの断面図である。

第7図はX線ソースおよびディテクタの位置を同期化するためのキャリブレーション手順を示す概略図である。

第8図はX線ソースおよびディテクタの運動の同期化のために使われているフィードバック制御システムのための概略ブロック図である。

第9a図は第7図で示されているキャリブレーション手順で使うためのテスト取付具を示す。

第9b図は第9a図のテスト取付具のX線画像を示す。

第10a図はX線ソースおよびディテクタの位置の同期化をキャリブレートするために使われる手順のフローチャートである。

第10b図は第10a図のフローチャートの続きである。

第11図はコンピュータ制御および分析システムのブロック図である。

第12図は主制御コンピュータの動作の概略的フローチャートであり、動作の運動シーケンスを示す。

第13図は四角基の統合された運動および板状板の取扱いの取扱いのためのタイミングサイクルの図である。

第14図はこの発明によって作成された検査報告の例である。

第15図は複数の半田接続部によって相互接続されている複数の電子素子がある典型的な回路を示す。

第16図は回路基板上に接続する位置にある典型的なリードレスチップキャリア装置を示す。

第17図は電子素子および回路基板との間で形成された良品半田接続部および不良品半田接続部の例を示す。

第18図は第17図の半田接続部の断面図を示す。

第19図は半田接続部欠陥の区別を自動的にさがして識別する手順を示す。

第20a図は半田接続欠陥を自動的に検出して識別する工程を示すフローチャートである。

第20b図は第20a図のフローチャートの続きである。

第21図は不十分な半田を有する半田接続部を自動的に検出して識別する手順を示す。

第22図は接続部の3つの領域を示す典型的な良品半田接続部の断面図である。

第23a図は半田材料の断面画像のための画像強度対半田厚さのグラフ表示である。

第23b図は画像強度対厚さの関係をキャリブレーションするために使われているキャリブレーションステップウェッジを示す。

第23c図は第23b図で示されているキャリブレーションステップウェッジの画像強度対厚さの関係をグラフ表示である。

第24図は欠陥したまたは不十分な半田を有する半田接続部を自動的に検出して識別する工程を示すフローチャートである。

好ましい実施例の詳細な説明

全体を通して使われているように、「放射」という言葉は電磁放射を指し、電磁放射スペクトルのX線、ガンマ線および紫外線部分を含むがそれに限られない。

第1図は本発明で使われているラミノグラフィックジオメトリの図解である。検査する対象物10、たとえば印刷基

および60cにそれぞれ対象物10内の埋込まれている矢印81、円82、および十字83の形のテストパターンを有する。

第2b図は交差点70が第2a図の図60aにあるときにディテクタ30に形成される対象物10の典型的ラミノグラフィックを示す。矢印81の画像100は鮮明であり、対象物10内の他のフィーチャの画像、たとえば円82や十字83は矢印画像100をそれほど不明瞭にしないばやけ領域102を形成する。

同様に、交差点70が図60bにあると、円82の画像110は第2a図で見られるように鮮明である。矢印81および十字83はばやけ領域112を形成する。

第2d図は交差点70が図60cにあるときに十字83が形成された鮮明画像120を示す。矢印81及び円82はばやけ領域122を形成する。

比較のため、第2e図は従来の放射ラミノグラフィック技術によって形成された対象物10のX線陰影画像を示す。この技術は矢印81、円82および十字83のそれぞれ鮮明な画像130、132および134を示し、これらは互いに重畳する。第2e図は対象物10内に含まれている複数の特徴が、X線画像に複数の重なる陰影のフィーチャを形成して画像の個々のフィーチャを不明瞭にするかをはっきりと示す。

第3a図はこの発明の好ましい実施例の概略図を示す。

図はX線ソース20およびX線ディテクタ30に関して停止した位置で示されている。共通軸40に対するX線ソース20およびディテクタ30の同期回転は、対象物10内の面60のX線画像をディテクタ30で形成させる。図60はソース20およびディテクタ30それぞれの回転によって規定される面62および面64と実質的に平行である。図60はX線ソース20からの中央光線50および共通回転軸40の交差点70に位置づけられている。交差点70のこの点は中央光線50の支点として働き、面60の対象物10の合焦断面X線画像を、ソースおよびディテクタが交差点70に対して同期して回転するにつれ、ディテクタ30に形成させる。面60の外にある対象物10の構造はディテクタ30でぼやけたX線画像を形成する。

第1図で示されているラミノグラフィック・ジオメトリは本発明に好ましいジオメトリである。しかし、放射ソース20の回転軸とディテクタ30の回転軸が同軸である必要はない。図62および図64が互いに平行であり、かつソースとディテクタの回転軸が互いに平行で互いに対して固定した関係にある限り、ラミノグラフィックの条件に満たされ、面60の断面画像が作成される。これは本発明の装置の機械的整列に対していくつかの制限を課す。

第2a図ないし第2e図は上記で説明したラミノグラフィック技術によって作成されたラミノグラフィックを示す。第2a図で示されている対象物10は3つの異なる面60a、60b

この好ましい実施例では、検査する対象物は基板210の上に実装された複数の電子部品212を有して電気接続部214によって電気的に相互接続されている印刷回路基板210である。(第3b図参照。)典型的に、電気接続部214は半田で形成されている。しかし、電気接続部214を作るための他の種々の技術はこの技術分野において周知であり、この発明は半田接合という言葉で説明されるが、導電性エポキシ、接合剤、タンゲステンおよび共晶ボンドを含めてしかしこれに限られない他の種類の電気接続部210がこの発明を使って検査できることは理解されるであろう。図解基板210の領域283の上面拡大図である第3b図は部品212および半田接合214をもっとはっきりと示す。

この発明は前に説明したラミノグラフィックまたは等価な断面画像を作成することができる他の方法を使って、半田接合214の断面画像を得る。半田接合214の断面画像は自動的に昇降されてその品質が決定される。この昇降に基づいて、半田接合品質の報告がユーザに呈示される。

第3a図で示されているようにこの発明は、印刷回路基板210に隣接して位置づけられているX線管200を含む。回路基板210は取付具220によって支持されている。取付具220は、取付具220と基板210を3つの互いに垂直な軸X、YおよびZに沿って動かすことができる位置決めテーブルに実装されている。回転X線ディテク

タ240は蛍光スクリーン250、第1の鏡252、第2の鏡254を含む、回転盤256はX線管200の反対側の回路基板210に回転して位置づけられている。カメラ258は蛍光スクリーン250から鏡252、254に映された画像を観測するために鏡252の反対に位置づけられている。フィードバックシステム260は回転盤256の角度位置を検出するセンサ263からの入力接続線262を有し、またX線管200のXおよびY偏向コイル281への出力接続線264を有する。位置決めエンコーダ265は回転盤256に装着されている。位置決めセンサ269は回転軸40と相対した固定位置でエンコーダ265に隣接して装着されている。カメラ258は入力ライン276経由で主コンピュータ270に接続されている。主コンピュータ270は高速画像分析コンピュータ272に接続されている。データはデータベース274経由で主コンピュータ270および画像分析コンピュータ272との間で伝送される。主コンピュータ270からの出力ライン278は主コンピュータを位置決めテーブル230に接続する。

この発明の斜視図は図3c図で示されている。第3a図で示されているX線管200、回路基板210、蛍光スクリーン250、回転盤256、カメラ258、位置決めテーブル230、コンピュータ270および272に加えて、花崗岩支持テーブル290、ロード/アンロードポート2

にストアされているキャリアプレート8れたXおよびYの偏向値と相関する。キャリアプレートされたXおよびYの偏向値と比例する駆動信号がX線管200のステアリングコイル281に伝えられる。これらの駆動信号に反応して、ステアリングコイル281は電子ビーム285を環状ターゲットアノード287の位置に偏向してX線ソーススポット280の位置が第1図に説明した態様でディテクタ240の回転と同期して駆動する。

基板210を透過して蛍光スクリーン250に当たるX線284は可視光286に変換され、回路基板210の領域283内の一面の可視画像を作成する。可視光286は鏡252および254によって反射されカメラ258に入る。カメラ258は典型的に低い光レベルの閉回路テレビ(CCTV)カメラを含む、X線および可視画像に対応する電子ビデオ信号をライン276経由で主コンピュータ270に伝送する。電子ビデオフォーマット画像はライン274経由で高速画像分析コンピュータ272に伝送される。画像分析コンピュータ272は半田接合214の品質を決定するために画像を分析および解釈する。

主コンピュータ270はさらに位置決めテーブル230をして回路基板210の動きを制御して領域283内で回路基板210の異なる領域が自動的に位置づけられるようにする。

回転X線ソース

92およびオペレータステーション294が示されている。花崗岩テーブル290はX線管200、位置決めテーブル230および回転盤256を含むがこれに固定されないこの発明の主要機能的要素を機能的に統合するための剛性の駆動プラットフォームを提供する。ロード/アンロードポート292は回路基板210をマシーンに挿入または除去するための手段を与える。オペレータステーション294はこの発明の機能を制御するだけでなくオペレータに検査データを伝えるための入力/出力能力を与える。

第3a図および第3c図で示されているこの発明の操作において、回路基板210の部品212を接続する半田接合214の高解像度の断面X線画像は第1図および第2図に関して前に説明したX線ラミノグラフィ方法によって得られる。特に、第3a図で示されているように、X線管200は回転ソース280のX線282を発生させる回転電子ビームストップ285を含む。X線ビーム282は領域283内に位置づけられる半田接合214を含む回路基板210の領域283を照らす。半田接合214、部品212および基板210を透過するX線284は回転蛍光スクリーン250によって送られている。

X線ソース280の位置と回転X線ディテクタ240の位置との動的整列はフィードバックシステム260によって精密に制御されている。フィードバックシステムは回転する回転盤256の位置をルックアップテーブル(LUT)

第4図は回路基板の高解像度ラミノグラフィを作成するためにX線282の回転電子ビームを与えることができるX線管200を示す。管200は高電圧電極部分320に隣接して装着されている電子銃310を含む。焦点コイル330およびステアリングコイル281は電極部分320および環状ターゲットアノード287の間に位置づけられている。電子ビームストップ360およびX線窓370は環状ターゲットアノード287によって規定される中央領域内で位置づけられている。真空エンベロープ380はX線管アセンブリ200の真空にされた部分を囲む。

操作中、電子銃310は電子ビーム285を高電圧電極部分320に近づけ、高い電圧電圧が電子銃310およびターゲットアノード287の間に与えられて電子ビーム285を加速し、案内してアノード287と衝突させる。高電圧信号の部分は電極322に与えられて電子ビーム285を案内し、加速し、形作る。好ましい実施例では、高電圧信号は約160キロボルトであり、電子ビーム285を介してアノード287に約7.5マイクロアンペアの電流を与えることができる。好ましくは、高電圧信号は約0.01%の精度内で一定に維持される。これらの値は例示的であって他の電圧、電流、精度を従うことができることは理解されるであろう。

電極部分320を接続すると、電子ビーム285は電子ビームの形および方向が焦点コイル330およびステアリン

グコイル281によって影響される管の領域に入る。好ましい実施例では、コイル330および281は電子ビーム285と相互作用する電磁界を発生して電子ビーム285の焦点を合わせるだけでなくアノード287の特定位置に向ける。X線ソース280はこれらの特定位置と一致し、X線ビーム282が放たれる。この過程で、非常に小さい直径約20μの電子ビームスポットがこれらの位置でアノード287に形成される。ラジオグラフィの分野でよく知られているように、このスポットの大きさはX線ソース280から得られるX線画像の全体の解像度を決定する上で非常に重要な役割を果たす。

ステアリングコイル281は環状アノード287と合わせてX線管200がソース280からX線を発生させることを可能にし、ソース280の位置はアノードをまわる円形のパターンで動く。円形パターンは対象物410の断面図面403内の焦点402を中心としている。

特定の、ステアリングコイル281は電子ビーム285をアノード287の内側表面354のいかなる望ましい部分にも向けることができる。電磁コイル281を適宜に同期化されたXおよびYの駆動信号で駆動させることによって、電子ビーム285はアノード287に向かって誘導されてビームがアノード287の内側表面354に当たった円形経路を描く。

好ましい実施例では、ステアリングコイル281は電子

タングステン表面354が置かれるサブストレート356は銅または他の適切な金属であってもよい。たとえば銅のような高い熱伝導率を有する材料は、電子ビーム285のエネルギーがアノードに与えられるときにターゲットアノード287にかなりの加熱が起こるので、この応用に特によく適する。銅サブストレート356は電子ビーム285がアノード287と衝突する位置280からのこの熱を取り除くために非常に効率的な良い熱導体を与える。

電子ビーム285がタングステン層354に衝突することによって発生した放射線ビーム282は窓370を透過して管200から出る。窓370は電子ビーム285が低圧する管200の真空エンベロープの一部を形成し、管内の表面354で生じたX線が強度およびエネルギーの最小損失で管の真空部分から出ることを可能とする。X線管のX線窓を形成するのに一般にタタンが使われており、この実施例の窓370で好ましい。しかし、窓370を形成するために他の材料を使うことができることも理解されるであろう。

回路基板または他の対象物410のX線検出中、基板の異なる領域が検出領域400内に入るように回動基板が動かされている間はX線をオフにすることがしばしば有利である。X線はできるだけ速くオンおよびオフにされることが望ましい。さらに、サイクルのすべてのオン部分の間に発生したX線は実質的に同一のエネルギー、強度および光學

ビーム285をそれぞれXおよびY方向に偏向させる別々のXおよびY電磁コイルを含む。コイル281を流れる電流は電子ビーム285と相互作用する電磁界を作りビームを偏向させる。これらのコイル281は構造および機能において陰極線管(CRT)に見られるヨークコイルと類似している。しかし、静電偏向技術も電子ビーム285を偏向するために使われることは理解されるであろう。

電子ビーム285がアノード287に当たった表面354は、X線ビーム282の中央X線392がソース位置280で始まり、焦点402の方向に向けられるように形成されている。こうして、電子ビーム285が表面354に当たった円形経路を描きながら、中央ビーム392は必ず同じ位置402に向けられる。

アノード287の表面354を形成する材料は、電子ビーム285が表面354に当たったときに発生する放射が望ましいエネルギー特性を有するものが選択される。ターゲット材料を加速電子ビームによってボンバードさせることによって発生する放射は制動放射(Bremsstrahlung)として知られている。制動放射の特性は電子ビームのエネルギーおよび電子ビームが向けられるターゲットの材料組成分によって主に決定される。好ましい実施例においては、電子ビーム285によってボンバードされる表面354はタングステン金属層によって覆われている。

待機を有するようなオン/オフサイクルを得るのが望ましい。X線管200は、電子ビーム285をビームストップ360に向けることによってX線のこの迅速なオン/オフ安定サイクルを達成する。電子ビーム285のこの経路はX線が窓370から出るのを防ぐ。こうして、対象物410に向けられた放射線発生は、対象物が再度位置づけられる間は止められる、すなわちオフにされる。電子ビーム285のビームストップ360への偏向を達成するには、ステアリングコイル281が適切な手段を与える。X線をオフにするこの方法は、電子ビーム285およびX線ビーム282の特性に影響するX線管の他のすべての機能がオン/オフサイクル中は乱されないようにする。したがって、電子ビーム285がサイクルのオン部分でアノード287に再度向けられると、X線ビーム282の特性は前のオンサイクルと実質的に変わっていない。

ビームストップ360はX線を非常に減衰させる材料、たとえば銅または鉛で形成されている。ビームストップ360の厚さ、位置、形状は、ビームがビームストップに向けられたときに窓370経路でX線が管200から出るのを防ぐのが選択される。これらのパラメータはX線管設計の技術における当業者によって簡単に決定できる。

アノード287の断面図面が第5図で示されている。この好ましい実施例では、放射ターゲット表面354は軸404に対して対称である円柱の一部を含む。ターゲッ

トアノード287は、内径の軸404が管200の中央2軸と一致するように管200に設置される。こうして、電子ビーム285が406として示されている単位rの円形径路で振動されると、結果として従来の電子放射源と等価であるエネルギー、強度、焦点特性を有する放射のソース280の移動スポットが生じる。アノード287の軸の形状を使って同じ結果を得ることができるのも理解されるであろう。

こうしてX線ソース200は、画像を拡大するジオメトリで運用しても高解像度のX線画像を得るために適するX線ソースを与える。さらに、ソース200はこのX線のソースをラミノグラフを作るのに適した円形パターンで動かすことができる。この円形運動は画像解像度または取得の速度を犠牲にすることなく達成することができる。放射ソースの回転は電子的に達成されるので、可動部品に必要でなく、したがって振動やその他の機械的システムの望ましくない特性をなくす。上記に説明した特性を有するX線ソースはモデル番号KM160Rとしてケベックス・コーポレーション (Keveex Corporation) から入手できる。他の電氣的振動可動X線ソースは「X線の発生にかかわる方法および装置」 (Method and Apparatus Involving the Generation of X-Rays) と題された米国特許第4,075,489号;「X線伝送スキニングシステムおよび方法ならびにそこで使うための電子ビームX線

スキニング」 (X-Ray Transmission Scanning System and Method and Electron Beam X-Ray Scan Tube for Use Therein) と題された米国特許第4,352,021号;および「X線管および装置」 (X-Ray Tube and Apparatus) と題された米国特許第2,319,350号で説明されている。これらの特許は引用によりここに採用される。

回転X線ディテクタ

第6図では第3図で開示して別に説明され、また対象物630の断面画像を得るために回転X線ソース280と関連して使われた回転X線ディテクタシステム240の概略図である。第6図で示されているように、対象物630のX線画像がX線ビーム284によって回転蛍光スクリーン250に形成される。スクリーン250は従来の光学装置による検出のためにこれらのX線を光学信号286に変換する。この好ましい実施例では、回転蛍光スクリーン250からの光学信号286は閉回路TV (CCTV) カメラ258によって検出される。カメラ258はこの光学信号286を電気信号に変換してコンピュータシステム270および272によってさらに処理される。スクリーン250に形成された光学画像はスクリーンとともに回転する。回転光学画像を視認するCCTVカメラ258の機械動作の必要をなくすために、光学画像は光学鏡252および254によって回転ディテクタ240内で非回転となり、回転スクリーン250に形成された回転光学画像がカメラで

観測されると静止しているように見える。

回転X線ディテクタ240はベアリング700によって軸404に対して回転装着されている回転盤256を含む。軸404は回転X線ソース280が回転する軸と径向上に同一であることに注意されたい。蛍光スクリーン250は回転盤256の上に設置される。3つの鏡252および254は回転盤256内に互いに平行に、そして軸404に対して45°の角度で装着されている。鏡252は回転盤256の中心に設置されて鏡の中央近くの軸404と交差する。鏡254は第1の鏡252および蛍光スクリーン250の両方に面するように回転盤256内で装着される。蛍光スクリーン250、鏡252および254は、回転盤、鏡およびスクリーンが1つの単位として軸404に対して回転するように回転盤256に装着される。従って、回転盤、スクリーンのこの配置は、ディテクタ240が軸404に対して回転するときスクリーン250に形成される光学画像に対する光学非回転アセンブリを形成する。

対象物630のX線陰影画像はX線ビーム284がスクリーンに当たると蛍光スクリーン250に形成される。蛍光スクリーン250はX線-光学変換器として動作する。たとえば、X線284がX線ソース280に面するスクリーン250の表面651に当たると、可視光286がX線ソース280と反対のスクリーン表面652から放たれる。蛍光スクリーン表面652から放たれる光学信号286は

2つの平行鏡252および254に反射されて閉回路TVカメラ258に装着されているレンズ699に入る。

蛍光スクリーン250は、放射ソース280の移動スポットの円形運動によって規定される面62と実質的に平行である面64において軸404に対して均一の角度的速度で機械的に回転せられる。鏡252、254は光学画像を回転蛍光スクリーンからレンズ699を通して静止カメラシステム258に映して、図64の画像の回転がカメラ258にはっきり見えないようにする。この鏡の配置は「トモスコープ」 (Tomoscope) と題された米国特許第2,998,511号で前に説明されている。

蛍光スクリーン250が回転する回転盤256に固定的に装着されている結果、スクリーンに形成される対象物630の一連の画像は、軸404に対して円形経路を進むスクリーンに関して異なる配向を有する。したがって、スクリーンに対する画像の動きによって起こる画像のブレを避けるために、スクリーン表面の放光の点は、その点がX線に当たらなくなった後は常に抑止されることが望ましい。好ましい実施例では、蛍光スクリーン250はブラセオジウムドープされたガドリニウム・オキシ硫化物、Gd₂O₃:BaPを含む。ブラセオジウムドープされたガドリニウム・オキシ硫化物は、スクリーンに関して画像の動きによるブレを防ぐのに十分「遅い」シンチレーション材料であり、カメラシステム258による検出のために十分な光出力を

与える。

代替として、「より遅い」スクリーンを扱うことができる。しかし、移動ブレを防ぐために、スクリーン250はスクリーンに形成された対象物630の画像がスクリーンに対して静止したままであるように、回転軸256に回転駆動されなければならない。このような動きは、たとえば1組のギアによって達成することができ、軸404に対する回転速度の回転と同期した回転盤に関するスクリーンの円形運動を重複させる。

光学非回転アセンブリを形成する回転X線ディテクタ240のための代替の実施例(示されていない)は、2つの平面鏡252、254を、発光スクリーン250に結合されてスクリーンと一致して回転する適切に曲げられた画像導体のまわり、たとえば光ファイバと置換する。画像導体は発光スクリーン250からの画像を回転軸404の中央の位置に伝送して、第3図および第6図で示されている2つの平行線と同じ効果をもたらす。これらの画像導体は光ファイバ、電子導体または導体の素子を含むことができる。

断面画像の形成

前述のように、対象物630の断面画像は、スクリーン250およびX線ソース280が軸404に対して同期して回転するにつれ、スクリーン250に形成される。ラミノグラフィ技術のばやけ効果および画像解像度は、断面画像

れる。3つのビデオフレームはカメラ258から三コンピュータ270(第3図で示されている)に伝えられて、そこで3つのフレームが平均され、軸404に対してスクリーン250の1回転の間に発光スクリーン250に形成された対象物630の断面画像のデジタル表現が形成される。代替的に、カメラ258をCRTに接続して、断面画像を直接見ることができる。

ソース/ディテクタの同期化

高解像度のラミノグラフィ断面画像の形成は、放射ソース280およびディテクタスクリーン250の円形運動の精密な整列および同期に依存する。第7図で示されているように、適切な整列および同期はソース280からの中央X線392が軸404にある固定点780を通り、中央X線392が常にディテクタスクリーン250の表面の1点880に向けられるようにすると達成される。第7図で示されている構成では、固定基準位置に対して、ソースおよびディテクタスクリーンの角度的位置が180°で分けられているときにこれが明らかに得られる。

ソース280およびディテクタスクリーン250の好ましい整列および同期化は第3図で示されているフィードバックシステム260によって維持されている。X線ディテクタスクリーン250が装着されている回転する回転盤286の位置はセンサ263によってモニタされる。回転盤の位置はフィードバックシステム260に伝えられて、

軸404に対してスクリーン250およびソース280が完全に回転する間に得られると最大限となる。カメラシステム258は発光スクリーン250の断面画像の発生を、鏡252および254を含む光学非回転アセンブリによって検出する。

発光スクリーン250が高い強度発光信号を放たないかもしれないので、光学信号286を高感度、低い光レベル調整によって検出することがしばしば有利である。低い光レベル検出装置の使用は、スクリーンの1回転の間に発光スクリーン250から放たれた光学信号286のより大きい部分を検出することによって、検出する画像品質を向上させる。多くの低い光レベルカメラシステムは低い光レベル感度を向上させるために画像増倍管をカメラシステムの一部として組み込んでいる。1つの特定のシステムはシリコン強化ターゲット(SIT)カメラとして知られており、非常に低い光のレベルを検出することができる。SITカメラシステムは周知であり、簡単に入手できる。本発明の好ましい実施例はRCAモデル番号4804BHP2-12S1T管に基づくSITカメラシステムを使用する。

好ましい実施例では、1つの断面画像は、1分間に約600回転という割合で軸404に対して回転する発光スクリーン250の回転中に約0.1秒で得られる。1回の完全な回転で、各フレームが1秒の1/30の持続期間を有する3つのビデオフレームがカメラ258によって集めら

回転盤の位置に対応する駆動信号を電子ビーム偏向コイル281に与える。回転盤が軸404に対して回転する間ソース280およびスクリーン250は必ず整列するように、駆動信号がX線ソース280の位置を制御する。この態様で、フィードバックシステムは放射線断面画像の発生に必要な精密なジオメトリを維持する。このシステムはX線管200および回転X線ディテクタ240の不正確な整列と、ターゲットアノード287とその周囲コーティング354の機械上の、装荷上の、および製造上の不正確および欠陥と、X線管を通る電子ビーム285の経路の収差たとえば焦点収差と、画像形成中の回転回転盤の回転速度の変化とを補償する。

フィードバックシステム260の典型的なブロック図は第8図で示されている。フィードバックシステム260はX線アップテーブル(LUT)720XおよびY線アップテーブル720Yと、XのDA変換器(DAC)723XおよびYのDA変換器(DAC)723Yと、Xコイルドライバ724XおよびYコイルドライバ724Yとを含む。LUTの720Xおよび720Yは好ましくは固体の、デジタルランダムアクセスメモリ(RAM)である。フィードバックシステムは回転するX線ディテクタ240を三コンピュータシステム270の制御の下にX線管偏向コイル281に接続する。

回転X線ディテクタ240が軸404に対して回転する

と、位置検出センサ263はディテクタ340の角度位置を位置決めエンコード265から検出する。検出された角度位置はディテクタの角度位置と対応するXおよびYのアドレス番号に変換される。アドレス番号は通信線721経由でXのLUT720XおよびYのLUT720Yに伝えられる。ソース/ディテクタ整列キャリブレーション手順によって、XおよびYのキャリブレーションデータはディテクタの各角度位置に対してXのLUTおよびYのLUTにストアされる。こうして、エンコードのXおよびYアドレスとLUTのXおよびYのキャリブレーションデータの間に1対1の関係が存在する。XおよびYのキャリブレーションデータは電子デジタル信号の形でLUTから検出される。電子デジタル信号はXのLUTとYのLUTから通信線720Xおよび722Y経由でXのDAC723XとYのDAC723Yにそれぞれ伝えられる。DACはデジタル信号をアナログ電気信号に変換してライン725Xおよび725Yからコイルドライバ724Xおよび724Yに送る。コイルドライバはそれぞれのアナログ入力信号を増幅して電磁石の出力信号をライン726Xおよび726Y経由でそれぞれコイル281Xおよび281Yに与え、ソースおよびディテクタの適切な整列のために必要な電子ビーム285の精密な偏向を得る。電子ビームは出力信号をコイル281に送与することによって発生した磁界による相互作用によって偏向される。電子ビームが磁界を横切る

と、それに偏向され、アノード287のX線ソーススポット280の位置を動かす。スポットが動く距離はキャリブレーションデータによって決定される磁界信号の大きさに比例する。

LUTキャリブレーションデータは第7図で概略的に示されたキャリブレーション構成を使って決定される。テストパターン730は位置780で幅404と交差するようにX線ソース280およびディテクタスクリーン250の間に位置づけられる。テストパターン730の従来のX線シャドグラフ画像830はスクリーン250に形成される。スクリーン上のX線画像830の光学像はカメラ258によって観測される(第3図参照)。光学像の電気的表現はライン276での電気的信号によってカメラ258から主コンピュータ270および画像分析コンピュータ272に出力される。ライン276の電気信号はコンピュータ270によってデジタル化されてデジタルフォーマットでコンピュータ270のメモリにストアされる。

第9図で示されているように、テストパターン730の好ましい実施例は、たとえばプラスチックのようにX線に対して比較的透明である材料の基板732を含んでいる。基板732はその長さおよび幅は約0.5×0.5インチであり、厚さは約0.1インチである。基板732の中央位置780では区画0.001インチの3本のタングステンワイヤ781a、781bおよび781cがあり、ワイ

ヤ781cが中央位置780を横切るように配向されている。ワイヤ781aおよび781bはワイヤ781cの反対側にあるようにかつワイヤ781aおよび781bを接続するラインも中央位置780を横切るように基板732に装着されている。こうして、ワイヤ781a、781bおよび781cは中心が位置780にある基準十字線781を形成する。十字線781のまわりには鉛またはその他のX線不透過性材料で作られた8個のマーカ782が装着されている。鉛マーカ782aから782dは約0.0625平方インチ、厚さ約0.004インチであり、基板732の4つの角の近くに位置づけられている。鉛マーカ782eから782hは約0.0625平方インチ、厚さ約0.008インチであり、マーカ782aから782dの中間に位置づけられている。

テストパターン730の典型的なX線シャドグラフ画像830の表現は第9b図で示されている。鉛マーカ782aから782hは画像830の画像領域882aから882hをそれぞれ形成する。テストパターン730の中央780は画像の中心880によって表わされている。同様に、タングステンワイヤ781aから781cはそれぞれ画像領域881aから881cを形成する。

領域884aから884dによって表わされている画像830の部分は、鉛マーカ882の画像およびタングステンワイヤ881を区切る長方形の関心領域(ROI)88

を形成する。関心領域884はデジタルフォーマットでコンピュータ270にストアされる。同様に、デジタルでストアされた画像はピクセルアレイを含み、各々のピクセルが画像の小さな部分を表わす。特に、関心領域884は境界884aに始って912個の列および境界884bに始って480個の行からなるピクセル格子に分けられる。格子の各ピクセルはその対応する列および行の指定によって表わされる。たとえば、関心領域884の左下隅885はピクセル(0,0)によって表わされている。同様に、角886はピクセル(511,0)、角887はピクセル(511,479)そして角888はピクセル(0,479)によって表わされる。中心位置880はピクセル(256,240)によって表わされている。1つの実施例では、画像830の角885と角886の間の距離はテスト画像790の約0.400インチに対応する。同様に、角885および角888の間の距離はテストパターンの約0.375インチに対応する。

XおよびYのLUTのためのキャリブレーションデータの決定はテストパターン730を使って手動的にまたは自動的に行なわれる。再び第3図および第7図を参照すると、X線ソース280、テストパターン730、回転鏡258およびカメラ258の最初の整列は手動的に行なわれる。まず、テストパターン730は中央780が幅404と交差するように位置づけられる。次にX線200、図

回転源250およびカメラ258は、スクリーン250に形成されるテスト取付具画像830が、軸404に対するソース280および回転源256の1回転の間カメラの視野の範囲内にずっと入るように恒定的に整列される。このようにシステムが恒定的に整列されると、回転源256は $\theta = 0^\circ$ として規定された初期の角度位置に位置づけられる。この初期位置で、カメラによって検出されそしてコンピュータにストアされたデジタル画像の中央ピクセル(256, 240)はスクリーン250の位置880と対応する。ソース280は約 $\theta = 180^\circ$ の角度位置に対応する位置280aに位置づけられ、したがってテストパターン画像830がカメラの視野範囲内に置かれる。テストパターン画像830の画像中心880が中央ピクセル(256, 240)に落ちなければ、XおよびYの偏向値はソース280の位置280aを変更するように調整されて、それでスクリーン250の画像中心880の位置を変える。偏向値は画像中心880が中央ピクセル位置(256, 240)に正確に位置づけられるようになるまで調整される。これらの偏向値は次に回転源256の位置 $\theta = 0^\circ$ のキャリブレーションデータとしてLUTの720にストアされる。回転源256およびスクリーン250は次に角度 $\theta = \Delta\theta$ に対応する新しい角度位置に動かされる。ソース280は約 $\theta = \Delta\theta + 180^\circ$ の角度位置に対応する位置280bに動かされ、テストパターン画像830がカメラの視野範囲内に置く。

図内に置く。テストパターン画像830の画像中心880が中央ピクセル(256, 240)に落ちなければ、XおよびYの偏向値は画像中心880が再び中央ピクセル位置(256, 240)に正確に位置づけられるようにソース280の位置280bを変更するために調整される。これらの偏向値は次に回転源256の位置 $\theta = \Delta\theta$ のキャリブレーションデータとしてLUTにストアされる。LUTキャリブレーションデータを決定するためのこの手順は、ソース280および回転源256が軸404を完全に1回転するまで $\Delta\theta$ の増加で続けられる。

ソースの280a、280b、280c、...、280nの位置のために決定されるLUTキャリブレーションデータは、角度位置 θ の関数として半径rの円形を幾何学式を決定するために使われる。半径rは回転ソース280がたどる経路の名目上の半径である。この式は位置280a、280b、280c、...、280nの中間にあるソースの位置のためのキャリブレーションデータを計算するために使われる。

第10図は偏角コイル281を制御するためにXおよびYのLUT720にストアされるXおよびYのキャリブレーションデータを決定するためにキャリブレーション手順によって行われる経路シーケンスステップの基本的フローチャートである。第1に、前述のように、第3A図で示されているように、この発明の機構は、X線管200、図

経路アセンブリ255およびXY位置決めテーブル290を含む組立てられて大体の整列で装着される。次にテストパターン730がXY位置決めテーブルに設置されて、テストパターン730の中央位置780が中央軸404とX線ソース280からの名目上の中央X線392の交差点によって表わされている点780と一致するような位置にXY位置決めテーブルによって動かされる(第7図参照)。

X線管200および光学アセンブリを恒定的に整列するステップは第10図のアクティビティブロック904によって表わされている。制御はアクティビティブロック904から経路906経由でアクティビティブロック908に渡され、そこでテスト取付具730が位置決めテーブルに固定および整列される。制御は経路910経由でアクティビティブロック912に渡され、そこでX線ソースがオンにされて電子ビームがビームグランプ位置に向けられる。これはテストパターンおよびディテクタをX線にさらすことなくX線管を安定させることを可能とする。制御は経路914経由でアクティビティブロック916に進み、そこで角度位置変数 θ およびアドレスインデックス変数iはそれぞれ $\theta = 0^\circ$ および $i = 1$ で初期化される。制御はアクティビティブロック916から経路918経由でアクティビティブロック920に渡される。アクティビティブロック920はLUTの初期化を次の初期近似値によって表わす:

$$L_{x1} = A_r \sin \theta \quad (1)$$

$$L_{y1} = A_r \cos \theta \quad (2)$$

ここで A_r は回転ソース280の近似半径と比例し、1は角度位置 θ と対応する偏向データを含むLUTアドレスである。ブロック920から経路922経由で送られるアクティビティブロック924では、角度位置 θ は $\Delta\theta$ によって増加され、そしてインデックスiは1つ増加される。1つの好ましい実施例では、角度増加 $\Delta\theta$ は約0.922°であり、1回転において約16,384の角度位置に対応する。この実施例では、XおよびYのLUTは各個別角度位置に対応してそれぞれの偏向データをストアするために少なくとも16384のアドレス位置を有し、そしてアドレスインデックスiは1から少なくとも16384までの範囲の整数をとる。制御は次に経路926経由でディシジョンブロック928に渡される。ディシジョンブロック928では、 θ の値は360°より大きい又は等しいかどうかチェックされる。もし θ が360°より大きくないまたは等しい場合、制御は経路930経由でブロック920に戻される。 θ が360°より大きいまたは等しいとすれば、制御は経路932経由でアクティビティブロック934に渡される。920から928のステップはループを形成し、利用できるすべてのLUTアドレスは初期偏向値でロードされて、電子ビームがX線管のアノードに円形経路を描かせる。16,384の別個の角度位置を許す実施例では、920から928のステップは約16,384回実行され

る。

ＬＵＴ初期処理が完了すると、制御は経路９３２からアクティビティブロック９３４に渡され、そこでディテクタは $\phi = 0^\circ$ として設定される初期基準位置に位置づけられる。次に制御は経路９３６経由でアクティビティブロック９３８に移され、そこでＬＵＴにストアされている実行データ（ L_{x1} 、 L_{y1} ）がX線ソースの回転を制御するために使われる。アクティビティブロック９３８が経路９３６経由で入ると、ＬＵＴの中の実行データは式（１）および（２）に従って計算された初期値であり、次に説明するキャリブレーション手順によって計算される最終値の初期近似値を示す。

ＬＵＴキャリブレーションデータの決定は経路９４０経由でアクティビティブロック９４２に進む。ブロック９４２では、回転X線ソース２８０はほぼ $(\phi = 180^\circ)$ に等しい角度位置 ϕ に止められ、ここで ϕ はX線ディテクタの角度位置である。たとえば、ディテクタが初期位置 $\phi = 0^\circ$ にあると、X線ディテクタはブロック９４２の角度位置 180° で位置づけられる。１６、３８４の角度位置および対応するＬＵＴアドレスを有する実施例では、ＬＵＴメモリ位置 L_{x1} 、 L_{y1} および L_{x2} 、 L_{y2} にストアされている値は、 180° のX線ソースの角度位置に対応するアノードの位置に電子ビームを偏向させる。

アクティビティブロック９４２で回転X線ソースを角度

Cまたは ΔR が0と実質的に等しくない、すなわちその絶対値が任意の小さな値、Eよりも小さくなければ、テストパターン画像中心はデジタル画像中心と一致せず、制御は経路９６０経由でアクティビティブロック９６２に渡され、そこでＬＵＴキャリブレーションデータが適宜に調整される。

アクティビティブロック９６２では、ＬＵＴキャリブレーションデータ L_{x1} と L_{y1} は次の式に従って調整される：

$$L_{x1}' = L_{x1} + f(\Delta C, \Delta R) \quad (5)$$

$$L_{y1}' = L_{y1} + g(\Delta C, \Delta R) \quad (6)$$

数学関数 $f(\Delta C, \Delta R)$ および $g(\Delta C, \Delta R)$ はＬＵＴの値 L_{x1} および L_{y1} のための調整値を計算するために使われ、中央付けエラー ΔC および ΔR を減じる。ＬＵＴの L_{x1} および L_{y1} の値はそれぞれ調整された値 L_{x1}' および L_{y1}' に置換される。この調整されたＬＵＴの値はライン９６４経由でアクティビティブロック９３８に伝えられ、ステップ９３８、９４２、９４６、９５０、９５４、９５８、９６２を含む第１のループは、画像中心がデジタルの画像中心と実質的に一致するまで繰り返される。画像が中心に置かれると、 ΔC および ΔR は実質的に0に等しく、ディシジョンブロック９５８から経路９６０経由でアクティビティブロック９６８に制御が渡される。

ブロック９６８では、ディテクタの位置は $\Delta\phi$ の値によ

って決められ、制御はライン９４４経由でアクティビティブロック９４６に渡される。アクティビティブロック９４６では、テストパターン７３０の断面画像８３０が得られてデジタル画像メモリにストアされる。好ましい実施例では、画像メモリは５１２の列および４８０の行を有するピクセル格子を含む。

経路９４８は制御をアクティビティブロック９４６からアクティビティブロック９５０に移し、そこで画像８３０の画像中心８８０の位置を含むピクセル（ C_c 、 R_c ）が読まれる。 C_c および R_c は画像の中心を含む画像ピクセルの列及び行座標であり、単独またはコンピュータ分析技術によって自動的に識別することができる。

アクティビティブロック９５０で決定される画像中心ピクセル位置（ C_c 、 R_c ）は経路９５２経由でアクティビティブロック９５４に渡され、ディテクタ中心からの画像中心の相対的ずれが次の式に従って計算される：

$$\Delta C = 256 - C_c \quad (3)$$

$$\Delta R = 240 - R_c \quad (4)$$

ΔC および ΔR は、テストパターン画像の中心（ C_c 、 R_c ）がピクセル（２５６、２４０）として設定されるデジタル画像の中心からずれている距離によって変えられる。

アクティビティブロック９５４で計算される ΔC および ΔR は経路９５６経由でディシジョンブロック９５８に渡され、そこで ΔC および ΔR が0の値と比較される。 Δ

って次の角度位置（ $\phi + \Delta\phi$ ）に増加される。ディテクタの新しい角度位置は経路９７０経由でディシジョンブロック９７２に渡されて、新しい角度 ϕ が 360° より大きいまたは等しいかどうかを決定する。もし ϕ が 360° より小さければ、制御は次に経路９７４からアクティビティブロック９３８に渡される。第１のループおよび行加のステップ９６８および９７２を含む第２のループが、ディテクタが１回転するまで、すなわち ϕ が 360° より大きいまたは等しくなるまで角度実行される。

好ましい実施例では、角度増加 $\Delta\phi$ はＬＵＴの連続する入力の間角度増加 $\Delta\phi$ よりも実質的に大きいものが選択されて、１回転のキャリブレーションが短時間で計算されるようにする。たとえば、増量 $\Delta\phi$ が 10° に等しければ、１回転は第２ループの３５回の実行で計算できる。３６の計算された位置の中間の位置に対応する現在のＬＵＴの値は、アクティビティブロック９７２で示されているように隣接の計算値間で補間することによって決定される。次に制御は経路９８０経由でアクティビティブロック９８２に渡されて画像の中央付けを任意にテストする。

アクティビティブロック９８２では任意の角度位置が選択されて中央付けの精度が決定される。選択された位置のすべての算術的エラーを反映する中央付けエラー ΣR が計算される。中央エラー値は経路９８４経由でディシジョンブロック９８６に渡されて、そこで値が0または他の所

定の値と比較される。ERRが実質的に0でなければ、制御は経路988経由でアクティビティブロック990に渡される。

アクティビティブロック990では、最初に決定された36の値の中間に位置づけられている付加のLUT値 θ_1 、および θ_2 は、36の付加の値に対して第2のループを再実行することによって経験的に決定される。たとえば第2のループの第1回目の実行で決められた値が角度 $\theta_1 = 0, 10, 20, 30, \dots, 340$ および 350 度であるなら、第2のループの第2回目の実行で決定された中間角度は $\theta_2 = 5, 15, 25, 35, \dots, 345$ および 355 度である。

ステップ978, 982, 986, 990を含む第3のループは、エラー値が実質的に0、またはすべてのLUT位置が経験的に決定されるまで再実行される。次に制御が経路994経由でキャリブレーション手順の最後に進む。

好ましい実施例では、LUTによって決められる位置の合計数は約16,000である。運転するキャリブレーション位置の間のブロック938および942で示される電子ビームの回転の開始および停止は少なくとも2つの機械を要する。第1に、回転電子ビームはアノード上の1つのスロットに長い時間当たらないからX線管のクーラントアノードの過度な加熱を防ぐことができる。第2に、ステア

リングコイルのヒステリシス影響は完全なヒステリシスリセットを要する運転する過程によって自動的に補償される。上記のキャリブレーション手順はオペレータの制御の下に手動で、またはコンピュータ制御の下に自動的に実行されることが理解されるであろう。

回転ディテクタの位置決めエンコードからの信号がしりすに到達し、対応するしりす値がX線管の偏向コイルを駆動させるのに要する時間は有限であるので、回転ディテクタの位置が検出されしりすに伝送される時間とその対応する偏向データがしりすからX線管偏向コイルに伝送されるまでの間に時間差または遅れがあるかもしれない。非常に遅いまたは0の回転では、この遅れは重要でない。しかし、回転率が増加するにつれ、遅れはどんどん大きくなる。位置決めエンコードおよびしりす間に位相オフセットを挿入することによってこの遅れは補償できる。最適位相オフセットは図830の焦点を評価しながらオフセットを変換することによって決定される。最適のオフセット以外では、画像はぼやける。最適オフセットはディテクタが一定の速度で回転する時の最も鮮明な画像に対応する。

X線ソースおよびディテクタの回転を同期化するために他のキャリブレーション手順を使うことができるのも理解されるであろう。

コンピュータ制御および分析システム

図11図は本発明の自動ラミノグラフ検査システムのた

めのコンピュータ制御および分析システムアーキテクチャのブロック図である。コンピュータシステムは主制御コンピュータ270を中心としている。ビデオフレームグラバ1002はプラグインボード経由でコンピュータ270に接続される。低レベルカメラ258はライン276経由で主コンピュータ270に接続される。X線1004、運動制御1006、オペレータ1008、安全1010、およびプリントアウト1012を含む種々のサブシステムは、通信線1005, 1007, 1009, 1011, 1013経由でそれぞれ主コンピュータとつながる。複数高速度画像分析コンピュータ272a, 272b, ..., 272nはまた「分析エンジン」とも呼ばれ、データネットワーク274経由で主コンピュータとコミュニケーションする。このコミュニケーションは、主コンピュータと分析エンジンとの間でデータネットワーク274経由で渡される「メッセージ」の形をとる。分析コンピュータ272はまた通信線1014経由でフレームグラバ1002と通信する。好ましい実施例では、それぞれの分析コンピュータ272は80386CPU、5メガバイトの主要RAMメモリおよびビデオフレームグラバメモリでCOMPAG[®] 386プロセッサボードを含む。主コンピュータ270も80386CPUでCOMPAG[®] 386プロセッサボードを含む。分析コンピュータ272は標準SCS1ネットワークによって主コンピュータ270に接続されている。

動作中は、主コンピュータ270は1012経由で種々のサブシステム1004を介して検査システムの動作を制御する。主コンピュータはさらにラミノグラフ画像の取得および分析を制御し、そこから検査している項目の品質の細度が引出される。主コンピュータはこの発明の操作を2つの方法で自動的に制御する。第1に、デジタル画像画像を獲得するためにプログラムされた運動のシーケンスが実行される。第2にプログラムされた分析手順が自動的にデジタル画像画像を検査および解釈する。1つの画像の分析は第2の画像の取得と同時に進行することができる。主コンピュータシステムによって行なわれる分析は、検査している項目の検出された種々の欠陥およびその他の特徴を分類する出力データリストが結果となる。

特に、図3a図および図3b図で示されているように、印刷回路基板の半田接合の検査のために、コンピュータは図830が装着されているXY2位置決めテーブル230の動きを制御する。1つの断面画像内に入る領域、たとえば0.400インチ×0.375インチはしばしば検査されるべき回路基板または他の品目の全体の領域よりも小さい。この場合、品目は複数のXY2位置決めテーブルによって論理的に渡され、それが組合わせられると回路基板の全体の検査領域を含む。主コンピュータは適切な運動コマンドをXY2位置決めテーブルに実行することによって検査するためのそれぞれのXY2制御回路を位置づける。最初の

X-Y観測範囲が検査のために位置づけられると、特定の断面画像が得られてカメラで送合される。次に画像のビデオ信号がカメラから高速画像分析コンピュータ272に送送される。回路基板は結果の断面画像として、半田検査の異なる面を焦点に合わせるために特定のZ位置に動かされることできる。

回路基板の好ましい位置シーケンスは、固定X-Y位置に対する必要なすべてのZレベル画像を集めて、それから次のX-Y位置に動いて、その位置に対する必要なすべてのZレベル画像を集めることである。このステップ・エンド・リピート・シーケンスは、基板のすべての必要な領域およびレベルが画像化されて分析されるまで繰返される。

主コンピュータの制御の下に行なわれる、回路基板のすべての半田接続部の完全な自動検査は、検査している特定の回路基板設計のためにあつていられる際にプログラムされた検査ルーチンを用いる。基板は位置され、各半田接続部は断面画像の取得および分析を通して検査される。

この自動検査ルーチンのステップを説明するフローチャートは第12図で示されている。アクティビティブロック1050で始まり、検査する回路基板はこの発明のロード/アンロードポート292に挿入される(第34図参照)。次に制御は経路1052経由でアクティビティブロック1054に送られて、そこで主コンピュータがX-Y-Z位置決めテーブルにメッセージを送って、回路基板を第1のX

Y観測位置に動かす。

経路1056を通過して、ルーチンはアクティビティブロック1058、1062、1066、1070、1074を含む第1のループに入る。アクティビティブロック1058では、主コンピュータは基板が第1の観測位置にあるというメッセージを受取る。主コンピュータは次にその位置での基板の断面画像が得られるようにX軸およびディテクタサブシステムを制御する。断面画像が得られると、制御は経路1060経由でアクティビティブロック1062に渡って、そこで前に得られた断面画像が分析コンピュータの1つに送られる。

経路1064経由でアクティビティブロック1066に達すると、受取られた画像によって決められる観測およびスライスを検出するメッセージが分析コンピュータによって受取られる。次に画像は分析コンピュータによって分析され、その間主コンピュータプログラムは経路1068経由でディレクションブロック1070に送る。ブロック1070では、最も最近に得られたスライスが、そのX-Y観測位置でとられるべき最後のZスライスであるかどうかチェックされる。さらにZスライスが必要なら、制御は経路1072経由でアクティビティブロック1074に渡る。ブロック1074では、X-Y-Z位置決めテーブルは回路基板をZ方向に移動させて、次のZスライスが得られるように位置づける。制御は次に経路1076経由でアクティビティ

ブロック1058に戻る。他の断面画像がブロック1058で得られ、それがブロック1062で分析コンピュータに送られて、ブロック1066で識別および分析される。ステップ1058、1062、1066、1070、1074を含む第1のループは、ディレクションブロック1070で現在のX-Y観測位置の最後のZスライスが得られたと判断されるまで繰返される。

最後のZスライスが得られると、制御は経路1078経由でアクティビティブロック1080に移されて、その特定のX-Y観測の検査が完了したことをメッセージが送る。たとえば、特定のX-Y観測が3つの異なるZレベルスライスが必要なら、第1のループが3回、各Zレベルに対して1回実行される。第1ループの3回目の実行が完了すると、メッセージがそのX-Y観測のすべてのデータが得られて分析されたことを示す。

第1のループとして識別されるステップのタイミング図が第13図で示されている。選ばれている時間の単位は1フレーム時間、または1/30秒であり、この割合で画像がビデオ信号としてカメラによって送送される。第1ループサイクルの開始で、回路基板は好ましい検査位置に位置づけられて、X線はオンとなり、カメラは画像を3フレーム時間(0.1秒)の間統合することを始める。この0.1秒の間、回路盤256およびX線ソース280(第30図)が1回転する。時間3/30秒で始まる次の続くフレ

ーム時間の間、画像がカメラ258によって「 grabs」されて画像分析コンピュータ272(第11図)の1つに送られる。その間、主コンピュータ272(第11図)はX線の発生を停止させる第1のコマンド(これは電子ビーム285を第4図のビームストップ360に向けることによって達成できる)、および別の画像の獲得のために回路基板を次の観測領域またはスライス位置に動かす第2のコマンドを実行する。この動きは典型的に0.1秒内で完了する。この0.1秒の間、回路基板は次の位置に動かされ止まる。このシステムは好ましくは、運動によって起こるいかなる機械的振動も0.1秒の時間の終わりまでには実質的に減衰されるように設計される。次にコンピュータはX線の発生を再開させるコマンドを実行して、サイクルが繰返される。1枚の画像の獲得のための典型的なサイクル時間はしたがって約0.2秒であり、1秒間に5枚の画像という速度に対応する。

成る画像を完全に分析するのにコンピュータが要する時間が0.2秒の画像獲得サイクル時間を超えても、この発明の1つの実施例は、第11図で示されている平行処理分析コンピュータ272を使うことによってリアルタイムの画像処理を行なう。平行処理アーキテクチャはシステムがいくつかの異なる作業を同時に行なうことを可能とする。たとえば、システムはいくつかの異なる画像を同時に分析しながら他の画像を獲得することもできる。したがって、

システムは次の面像を得るまでに各面像分析が終わるのを待つ必要はない。分析コンピュータの最適台数は、面像処理コンピュータが検査工程においてボトルネックとならないように、行なわれている面像分析の処理能力に基づいて、決めることができる。

ブロック1080のXY検測の完了によって、制御は経路1082からアクティビティブロック1084に移されて、そこでその特定のXY検測検査の時間が主コンピュータのメモリにストアされる。経路1086経由でディジコンブロック1088に進むと、XY検測識別がチェックされて回路基板の付加のXY検測が必要かどうかチェックされる。

付加のXY検測が必要なら、制御は経路1090経由でアクティビティブロック1094に移される。ステップ1094、1098、1062、1066、1070、1074、1080、1084、1088を含む第2のループが回路基板のプログラムされた面像位置がすべて得られて分析されるまで検査回実行される。

プログラムされた面像位置がすべて検査されると、制御は経路1092経由でアクティビティブロック1094に移って、検査が完了しレポートをダウンロードする時であることを示す。

経路1096経由でアクティビティブロック1098に進むと、前に検査した面像の検査結果は検査報告という形で

で出力される。次に制御は経路1100経由でアクティビティブロック1050の検査ルーチンの最初に戻って、システムは他の回路基板の検査を始める用意ができる。

典型的な検査報告の例は第14図で示されている。積みの簿記が検査の日付および時間1102、回路基板のモデル番号1104と検査した回路基板の追跡番号1106を記録する。検査の結果は3列の表として作られて、素子名1108、欠陥が識別されたピン番号1110、そして識別された半田欠陥の種類1112が示される。この特定例では、U13として識別された素子では、ピン2および3との間に半田付着欠陥があることがわかる。同様に、素子R17はピン1に不十分な半田を有する。素子U13、R2、R17などは集積回路チップ、抵抗器、キャパシタなどのような典型的な電子素子である。さらに、検査報告は種々の欠陥および処理制御パラメータの傾向分析を与える統計的要約を提供することもできる。この検査報告は既述の期間にわたってマシンの操作の年代別履歴を示す運転要約を含むこともできる。運転要約はオペレータの識別、各オペレータの勤務交替に対する開始時間、停止時間および日付、そして各シフト中に処理された基板の数を含めたマシンの運用要約の報告を含むことができる。

上記に説明したルーチンを基に回路基板全体を検査するのに要する合計時間は、いくつかの要因によって決定される。これらの要因の3つは、(1) 各XY検測位置に必

要異なる2レベルのスライス(断面画像)の枚数、(2) 検測サイズの範囲、すなわち各識別の面像が包含する領域、(3) 回路基板の大きさ、すなわち検査すべき合計面積である。

典型的な回路基板検査は、基板の素子の模様型および半田接続部の形式に依存して、各XY位置に対して1から8枚の2スライスを用意するかもしれない。検測の範囲は各面像に対して得られる検査面積であり、この発明の1つの実施例では約0.400インチ×0.375インチである。検測サイズのこの範囲は各ピクセルが0.0008インチの等級の寸法を有する高解像度画像に相当する。最後に、特定の回路基板を走査するのに必要なXY検測および2スライスの数はサライク法で、必要な検測の合計数を決定し、これにより検査に要する合計時間が決定される。

たとえば、6"×9"回路基板(54平方インチ)は検査を要する面積が50平方インチを有するかもしれない。各検測範囲の0.15平方インチ(0.400インチ×0.375インチ)では、全体の基板を包含するのに約360のXYの検測位置が必要である。各位置に対して平均して2枚の2スライスが必要であると仮定すると、この特定の回路基板は完全な検査を行なうには720枚の面像を必要とする。1秒に5枚の面像の割合だと、この基板を検査するのに必要な合計時間は約144秒となる。

典型的な検査時間として、非常に複雑な回路基板に対す

る20秒から高解像度の検査を必要とするより大きいより複雑な基板に対する8分まで至る。

自動半田接続部欠陥分析

本発明は特に、回路基板に設置された電子部品間の半田接続部の自動検査を行なうのに適する。1つの実施例では、半田接続部の高解像度のX線断面画像を得てコンピュータ制御デジタル画像処理手段によって画像を分析することによって達成される。この態様で分析することができる半田接続部欠陥の異なる種類は多数ある。しかし、自動半田接続部画像分析の一般的概念はいくつかの図式的例によって示すことができる。このような例は隣接する接続点間の半田付着、或る接続部での不十分な量の半田、および或る接続部での半田の欠陥などを含む。

第15図は複数の半田接続部214によって相互接続されている複数の電子素子212と2150が上に位置づけられている典型的回路基板210の一部を示す。自動分析手段の説明を簡便にするため、電子素子の特定の形式及び対応する半田接続部が詳細な説明のために抜粋されている。しかしこの発明は選択した特定の素子によって制限されるのではなく、またこの発明はいくつかの他の形式の素子、技術および電気接続部に応用できることは理解されるであろう。特に、表面装付け技術を採用した素子が詳細に説明されるが、この発明はスルーホール・マウント技術を含む他の多くの種類の回路基板技術に応用できる。

表面実装技術(SMT)はメタライズされたコネクタパッドを含む電子素子が回路基板の表面の対応するメタライズされたコネクタパッドに半田付けされる広く使われている技術である。第16図は接続される回路基板210の特定の位置の立面位置で示されている典型的なSMT素子212を示す。特に、電子素子212は電子回路で一般に使われそして業界ではリードレスチップキャリア(LCC)として知られているパッケージを含む。LCC212は複数のメタライズされたコネクタパッド1160a、1160b、1160c、…、1160nを含む、LCCが回路基板210の位置の上に位置づけられると、直接接続する対応するメタライズされた回路基板コネクタパッド1260a、1260b、1260c、…、1260nにそれぞれ位置づけられる。メタライズされたパッド1260は回路基板210の表面の上または表面近くに形成されて、種々の電子素子212および完全な回路基板アセンブリを含む1150を相互接続するための電気接続点を与える。

第17図は5図のメタライズされたコネクタパッド組1160a/1260aから1160c/1260cの間に形成された半田接続部の一般的な視覚的外見を示すLCC212の部分の拡大図である。パッド1160cと1260cの間に形成された半田接続部1360は肉眼で見える欠陥を有しない良い接続部の例である。半田接続欠陥1370が隣接する半田接続部1360aと1360bの間

で示されている。不十分な半田を寄する接続部1360cはパッド1160cと1260cの間で示されている。半田接続部1360dは視覚的に欠陥がないように見えるが内部的な欠陥を含む。パッド1160fと1260fの間の接続部1360fには半田が示されていない。

第18図は第17図で示されているLCC素子212の部分のX線断面図の外見を示す。断面図像によって示される面は回路基板210によって規定される面と平行であり、回路基板の表面の上約0.0005インチにある。素子212、素子接続パッド1160および回路基板接続パッド1260の位置を示す假想線は参照の目的のためだけに示されており、実際の断面図像には存在しないかもしれない。指定図像において図像領域1360a'、1360b'、1360c'、1360d'、1360e'、1370'は半田接続部1360a、1360b、1360c、1360d、1360e、そして欠陥1370にそれぞれ対応する。

半田接続欠陥の検出のための画像分析

半田接続欠陥は回路基板のトレースの間、接続パッドとトレースの間、2つの異なる接続パッドの間、または2つの列々の接続ピンの間の不要な半田の存在である。接続パッド1260aと1360bの間の接続欠陥図像1370'の位置での第18図の並大部分が第19図で示されている。列および行を含む任意のピクセル格子が、接続欠陥を

検出するための自動手順の説明を援助するために示されている。

画像の各ピクセルはそのピクセルによって表わされている画像の光密度に対応する強度値に関連づけられている。強度値は0(黒)から255(白)にわたるグレイスケールを形成する。X線を簡単に穿てる高密度の材料、たとえば半田の画像は、グレイスケールの黒い端に近いグレイの低い明度に対応する比較的低い強度値によって表わされている。反対に、低い密度材料、たとえばプラスチック回路基板は、グレイスケールの白い端に近いグレイの高い明度に対応する強度値を有する画像を作る。この種のグレイスケールを有する画像は「陰図」像として知られている。グレイの明度と強度の関係は逆転させて一般に「陰図」像として知られているものを作ることができることは理解されるであろう。この発明において陰画像または陰画像どちらを扱うこともできるが、説明のために陰画像が使われる。したがって半田材料を表わす画像の領域内のピクセル、たとえば領域1360'と1370'は比較的低い画像強度値に対応する。画像の他の領域のピクセルは高い密度材料、たとえばプラスチック回路基板を表わし、比較的高い画像強度値に対応する。

画像分析の最初のステップは、半田接続欠陥の検出および評価を行なうために必要なトポグラフィックデータ(topographical data)と接続パラメータを得ることを含む。こ

の発明の1つの実施例では、データファイルは行なわれている各画像分析に対してこの特定の情報を含む。回路基板が一旦識別されると、その特定のボードの形成に対するデータファイルが呼び出されて分析コンピュータメモリに入られる。接続半田欠陥の存在のために画像を分析する算術は入力として、回路基板接続パッド1260の位置の中心(center)、その境界、所定のサーチ経路位置、および所定の差分グレイしきい値を使用する。第19図で示されている例では、データファイルは接続パッド1260aの位置の中心1378は(C30、R75)の列および行ピクセル座標に位置づけられているという情報を含む。さらに、データファイルはパッド1260aのピクセル幅はピクセル列番号C75とC25の間であり、パッドの長さはピクセル行番号R125とR25の間であるという情報も含む。接続半田欠陥分析を行なうのに必要な他の検索パラメータ、たとえば差分グレイしきい値、サーチ経路位置、寸法もデータファイルから生成される。

半田接続欠陥のための半田接続部の断面X線画像の分析手順は半田接続部1360a'に関して第19図で示されている。詳しくは、断面画像の面は回路基板面と実質的に平行である面であり、回路基板の表面の上約0.0005インチにある。この手順は破線から、中心の半田接続部のまわりを完全に囲むサーチ経路に沿って不必要な半田の存在の決定を一般に含む。

パッド1260aのトポグラフィックデータを使って、経路セグメント1380a、1380b、1380cと1380dを含むパッドの境界のまわりのサーチ経路1380を規定するために分析算法が始められる。サーチ経路は毎1ピクセル分であり、パッドの境界から所定の距離に位置づけられる。512の列および480の行を含むデジタル画像で約0.400インチ×0.375インチの回路基板の領域に対応する図例では、1つのピクセル幅は回路基板の約0.00078インチの距離に対応する。第15図のパッド境界からサーチ経路への所定距離は、ピクセル列C95とC75の間の距離とピクセル行R5とR25の間の距離である。所定の距離は特定の分析応用の要求に合うように経験的に選択することができる。

サーチ経路1380を含む各ピクセルの強度値は、サーチ経路の隣接するピクセルの強度と比較されて差分のグレイ値 ΔG を決定する。特定ピクセルの強度値またはグレイ値は I_k によって与えられる。2つの隣接するピクセル1とピクセル2の間の差分グレイ値 $\Delta G_{1,2}$ はそれぞれの強度 I_1 と I_2 の間の差分をとることによって見つけられる。次に各差分グレイ値 $\Delta G_{1,2}$ は所定のしきい値 ΔG_{th} と比較される。画像の半田部分に1つのピクセルが位置づけられ、その隣接のピクセルが画像の回路基板部分に位置づけられる場合を示すしきい値が選択される。サーチ経路に沿った不要な半田の存在は、差分のグレイ値

がしきい値を超えることで示される。

図に従って、サーチ経路1380の強度 I_1 を有する第1のピクセル(C95, R5)の $\Delta G_{1,2}$ で始まって、列C95を上に進んで経路セグメント1380aの隣接するピクセルから強度 I_2 を有する第2のピクセル(C95, R6)へ進むサーチを考慮しよう。この開始位置は任意であり、サーチ経路に沿ったいかなる位置でもサーチを始める位置として選択することができることは理解されるべきである。これらの初めの2つの隣接するピクセルの差分グレイ値は以下で与えられる：

$$\Delta G_{1,2} = I_1 - I_2 = I_{C95, R5} - I_{C95, R6} \quad (17)$$

差分グレイ値の絶対値 $|\Delta G_{1,2}|$ がしきい値 ΔG_{th} よりも大きいまたは等しければ、ピクセルの強度および差分グレイ値の符号、すなわち正または負が欠陥表示D₁としてストアされ、ここで1は欠陥表示が見つかった順番に対応する整数である。たとえば、D₁は開始位置1382から始まるサーチ経路1380に沿って最初にいくつ欠陥表示と対応し、D₂は出くわす2番目の欠陥表示に対応する云々となる。

第19図で示されている例では、第1の欠陥表示D₁はおよそ(C95, R55)に位置づけられるピクセルKで見つけられている。ピクセルKが画像の半田欠陥1370'部分にあるのなら、およそ(C95, R54)に位置づけられているサーチ経路にある前のピクセルK-1は太

く半田部分の外にあり、ピクセルKよりもより高い強度値を有する。したがって、運動に選択された $\Delta G_{K-1,K}$ は、これらの2つの隣接するピクセルK-1とKの強度 I_{K-1} と I_K から引出された差分グレイ値 $|\Delta G_{K-1,K}|$ の絶対値よりも小さい。さらに $\Delta G_{K-1,K}$ は符号が正である。同時に、およそ(C95, R90)に位置づけられているピクセルMに第2の欠陥表示D₂が見つけれられる。ピクセルMが画像の半田欠陥1370'部分にあれば、およそ(C95, R91)に位置づけられているサーチ経路にある後のピクセルM+1は、半田部分の外にあり、ピクセルMよりもより高い強度値を持つ。したがって、この2つの隣接するピクセルMとM+1の強度 I_M と I_{M+1} から引出された差分グレイ値 $|\Delta G_{M,M+1}|$ の絶対値は $\Delta G_{K-1,K}$ よりも大きい。さらに、 $\Delta G_{M,M+1}$ は負の符号である。こうして回路欠陥1370'の存在は、欠陥表示D₁が正であり次の欠陥表示D₂が負であるときに明らかとなる。

欠陥表示のためのサーチ経路全体が検査されるまで経路1380のまわりで続けられる。見つけられたすべての経路の報告は記録されて報告される。

半田検出欠陥を自動的に直す工程を示すフローチャートが第20図で示されている。アクティビティブロック1400で始まって、分析される特定回路パッドのトポグラフィックデータおよびその他の検査パラメータは分析コンピュータメモリから呼出される。経路1402経由でアクテ

ィビティブロック1404に進むと、検査パッドのまわりのサーチ経路は、コンピュータのメモリにストアされているトポグラフィックデータおよびその他の検査パラメータを使って規定される。次に回路は経路1406経由でアクティビティブロック1408に移されて、ここでサーチ経路走査はピクセルカウンタ"1"および欠陥表示カウンタ"j"を1にセットすることによって初期化される。

アクティビティブロック1412、1416、1420、1424、1428と1434を含む第1のループが経路1410経由でアクティビティブロック1408から入る。第1のループでは、サーチ経路をなす各ピクセルが検査され、差分グレイ値が計算され、候補欠陥位置が識別され、決まらぬに処理するためにストアされる。ループの第1のアクティビティブロック1412では、サーチ経路の第1および第2のピクセルの差分グレイ値 $\Delta G_{1,2}$ が計算される。この値は経路1414経由でディシジョンブロック1416に渡され、そこで差分グレイ値 $|\Delta G_{1,2}|$ の絶対値が所定しきい値 ΔG_{th} と比較される。 $|\Delta G_{1,2}|$ が ΔG_{th} よりも大きいまたは等しければ、制御は経路1418経由でアクティビティブロック1420に渡される。アクティビティブロック1420では、ピクセル1と2の位置および $\Delta G_{1,2}$ の符号は第1の欠陥表示D₁としてストアされる。制御は経路1422経由でアクティビティブロック1424にわたって、そこで欠陥カウンタ

・j・が1つ増加される。1428のディシジョンブロックでは、経路1426経由で送られる第1ループの最終ブロックでは、全体のサーチ経路が検査されたかどうかを決定するために完了チェックが行なわれる。完了していなければ、制御は経路1432経由でアクティビティブロック1434にわたって、サーチ経路ピクセルカウンタ「i」が1つ増加される。次に制御は経路1436経由でアクティビティブロック1412の第1のループの初めに戻る。サーチ経路をなすすべてのピクセルが分析されるまで第1ループが繰返され、制御は経路1438経由で第1ループのディシジョンブロック1428からアクティビティブロック1440にわたる。

アクティビティブロック1440では、欠陥カウンタ「j」は、再度経路1442経由で第2のループに入る前に1の値に初期化される。第2のループはブロック1444、1448、1452と1458を含む。第2のループでは、第1ループで識別された欠陥表示は、サーチ経路に沿った半田接続欠陥の位置を判定するために検査される。ディシジョンブロック1444の第2のループをj-1で入ると、欠陥表示D₁、およびD₂の符号が決められる。もしD₁が正でD₂が負であれば、制御は経路1446経由でアクティビティブロック1448にわたって、そこでD₁とD₂の位置が記録されて半田接続欠陥がD₁とD₂の間のサーチ経路セグメントにあると記録される。次に制御

は経路1450経由でディシジョンブロック1452にわたされて、欠陥表示D₁がすべて分析されたかどうかを判定するために完了テストが行なわれる。完了していなければ、制御は経路1456経由でアクティビティブロック1458にわたされてそこで欠陥カウンタ「j」が1つ増加される。次に制御は経路1460経由でディシジョンブロック1444の第2のループの初めに戻される。第1ループでサーチ経路に沿って見つけれられたすべての欠陥表示は、半田接続欠陥に対して分析されるまで、第2のループが繰返される。次に制御は経路1462経由でディシジョンブロック1452からアクティビティブロック1464に渡る。ブロック1464では、サーチ経路に沿って見つけれられたすべての半田接続欠陥の報告は作成されて後で呼出すためにストアされる。

欠陥または不十分な半田欠陥の

検出のための画像分析

欠陥した半田欠陥は、電子素子接続パッドと対応する回路基板接続パッドを含む接続部での実質的に0のまたは非常に少量の半田の存在として定義される。不十分な半田欠陥は、接続部にあるかの半田があるが適切なフィレットを形成するまたは接続部に十分な量を供給するのに十分でないものとして定義される。接続パッド1160cと1260cの間の不十分な半田欠陥面積1360c'の位置の第18図の拡大部分が第21図で示されている。列および

行を含む任意のピクセル格子が、欠陥したまたは不十分な半田欠陥を検出するための運動手順の説明を模倣するために示されている。

欠陥半田または不十分な半田の欠陥の半田接続部の断面X線画像を分析するための手順が、半田接続面積1360c'に関して第21図で示されている。好ましくは、断面画像の図は回路基板の面と実質的に平行である面であり、そして回路基板の表面上約0.0005インチにある。この手順は一般に図像から、いくつかの特定領域の半田接続部の厚さを測定するのを含む。

半田接続部の3つの特定領域が第22図に関して規定されている。第22図はたとえば接続部1360c'のような典型的に良品の半田接続部の断面図である。断面図に第17図のライン22-22に沿ったものである。電子接続パッド1160と回路基板接続パッド1260の間に挟持されている接続部1360c'の第1の領域1501は接続部の「パッド」として示されている。表平212の横断面1505からおよそ始まって、壁面1505とパッド1260の境界1507の間の点1506までおよそ延在する第2の領域1502は、接続部1360c'の「かかと」部分として示されている。点1506でおよそ始まってパッド1260の境界1507までおよそ延在する第3の領域1503は接続部1360c'の「爪先」部分として示されている。

典型的に、パッド領域1501は比較的薄いほとんど均一な厚さの半田を含む。かかと領域1502は一般に不均等の厚さであり、接続部の最も厚い部分をなす。爪先領域1503は一般にかかとと比べて厚さにおいてより均一であるが、それほど厚くはない。接続部1360c'をなす半田の量は3つの領域1501、1502、1503のそれぞれの半田の平均厚さの測定から算出できる。

典型的に鉛と锡の混合体である半田材料のX線グラフ断面画像では、画像の強度と画像を形成する半田材料の厚さとの間に関係がある。第23図はこの一般的に関係の例を示す。この例では、画像の強度は半田材料の厚さが増加するにつれ、グレイのより薄い明度（白）に対応する値からグレイのより濃い明度（黒）に対応する値に減少する。すなわち、半田の薄い部分の画像は、半田のより厚い部分の画像の画像強度値よりも高い画像強度値を有することになる。薄い部分の画像は、厚い部分の画像よりも薄い明度のグレイを示す。この関係は異なる厚さの接続のステップを含むキャリブレーションステップウェッジを使うことによってキャリブレートすることができる。このようなステップウェッジ1560の例は第23b図で示されている。ステップウェッジ1560は半田材料で構成されており、0.001インチの増加率で0.001インチから0.010インチにわたる厚さを有する1571から1580までの10個のステップを含む。ライン1590を含む

ステップのベース1592と平行である面とよれたステップ
ブランチ1560のX線トモグラフィ断層図は第23
図で示されている。図は強度対半田厚さの関係を示す。ス
テップ1571から1580の厚さは既知であるので、対
応する強度1571'からステップ1580'は厚さが知
られていない半田材料の断層図の強度と比較して知
られていない厚さを決定することができる。

分析における最初のステップは、欠陥したまたは不十分
な半田欠陥を検査および評価するための必要なトモグラフィ
ックデータおよび検査パラメータの取得を含む。この1
つの実施例は、行なわれる各分析に対してこの特定の情報を
含むデータファイルを与える。欠陥または不十分な半田
欠陥の存在のために図像を分析する際は入力として、接
続パッドの質量の中心位置および境界、3つの検査窓、6
つのしきい値を設ける。この例では、データファイルは接続
パッド1260cの質量の中心1679は第21図の列お
よび行ピクセル座標(C100, R62)に位置づけられ
ているという情報を含む。さらに、データファイルは、パ
ッド1260cのピクセル長さはピクセル番号C50と
C150の間の差分であり、パッドの幅はピクセル行番号
R75とR50の間の差分であるという情報を含む。分析
を行なうのに必要な他の検査パラメータもデータファイル
から抽出される。

パッド1260cの図像1360c'の欠陥したまたは

不十分な半田欠陥分析のためのトモグラフィックデータお
よび検査パラメータを使って、図像分析は第21図に
示されているように、3つの検査窓1501、1602と
1503の境界を設定するために進む。各窓は形状におい
て長方形であり、パッドの境界および質量の中心から所定
の距離に位置づけられている。第1の窓1601はピクセル
座標(C55, R55)、(C55, R70)、(C85
5, R70)と(C85, R55)を有する4つの角によ
って規定される。窓1601は実質的に半田接続部のパッ
ド領域1501に重畳する。第2の窓1602はピクセル
座標(C95, R55)、(C95, R70)、(C120
、R70)、(C120, R55)を有する4つの角によ
って規定される。窓1602は実質的に半田接続部のかかと領域
1502に重畳する。第3の窓1603はピクセル座標
(C125, R55)、(C125, R70)、(C145
、R70)、(C145, R55)を有する4つの角によ
って規定される。窓1603は実質的に半田接続部の爪
先領域1503に重畳する。

窓の中の平均図像強度は、窓をなすすべてのピクセルの
図像強度を計算して、加算に貢献するピクセルの合計数に
よって計算することによって決められる。こうしてパッド
領域1601、かかと領域1502、爪先領域1603から引出された平均強度はそれぞれI₁、I₂、とし
てI₃として示されている。前に説明したように、これら

の平均強度は、それぞれの領域の半田の平均厚さT₁、T₂
、T₃と直接関係する。欠陥したまたは不十分な半田欠
陥の存在はこれらの平均厚さT₁、T₂、T₃を所定の厚
さしきい値Th₁、r、Th₂、r、Th₃、r、Th₁、
r、Th₂、r、Th₃、rと比較することによって決定
される。一般に、Th₁、r、Th₂、rとTh₃、rの
欠陥半田しきい値はそれぞれパッド、かかと、爪先の領域
に対応し、不十分な半田しきい値Th₁、r、Th₂、r、
Th₃、rよりも小さい。すなわち、Th₁、r < Th₁、
r、Th₂、r < Th₂、r、Th₃、r < Th₃、rで
ある。特に、もしT₁ < Th₁、r、T₂ < Th₂、r、
T₃ < Th₃、rなら、接続部は欠陥した半田を有するも
のとして報告される。もしTh₁、r < T₁ < Th₁、r、
Th₂、r < T₂ < Th₂、r、Th₃、r < T₃ < Th₃、
rなら、接続部は不十分な半田を有するものとして報
告される。

欠陥または不十分な半田欠陥を自動的に検出手順を永す
フローチャートが第24図に示されている。アクティビティ
ブロック1700で始まって、分析される特定の接続パ
ッドのトモグラフィックデータおよびその他の検査パラメ
ータは分析コンピュータのメモリから呼出される。経路1
702経由でアクティビティブロック1704に進んで、
半田接続部のパッド、かかと、爪先の領域の検査窓は、コ
ンピュータのメモリにストアされているトモグラフィック

データとその他の検査データを使って規定される。次に制
御は経路1706経由でアクティビティブロック1708
に進まれ、そこで各窓の内の平均図像強度が決定されて対
応する平均半田厚さが計算される。次に制御は経路171
0経由でディシジョンブロック1712に進められる。

ディシジョンブロック1712では、窓内の平均半田厚
さT₁、T₂、及びT₃はそれぞれ不十分な半田厚さしき
い値Th₁、r、Th₂、r、Th₃、rと比較される。
平均厚さが不十分な半田しきい値よりも小さくなければ、
制御は経路1714経由で分析ルーチンの最後に送られる。
もし平均厚さが不十分な半田しきい値よりも小さければ、
制御は経路1718経由でディシジョンブロック1720
に進められる。ディシジョンブロック1720では、平均厚
さT₁、T₂、T₃は欠陥した半田厚さしきい値Th₁、
r、Th₂、r、Th₃、rと比較される。平均厚さが欠
陥半田しきい値よりも小さくなければ、制御は経路172
2経由でアクティビティブロック1724に進んでそこ
で不十分な半田欠陥が記録される。次に制御は経路172
6経由で分析ルーチンの最後に送られる。ディシジョンブ
ロック1720において平均厚さが欠陥半田しきい値より
も小さければ、制御は経路1728経由でアクティビティ
ブロック1730に進んでそこで欠陥半田欠陥の存在が
記録される。次に制御は経路1732経由でルーチンの最
後に送られる。

ここで説明されているシステムおよび装置は基本的に印刷回路基板の上の半田接続部の検査のために開発された。しかし、この発明は他の対象物および特徴の検査のためにも有用であろう。上記の記述は印刷回路基板の上の電子部品間の半田接続部の検査に適用された発明の1つの好ましい実施例を含むが、当業者にとって明らかな他の応用もある。

この発明はその形状および本質的特徴から離れることなく他の特定の形状で実施することができる。説明された実施例はいかなる点においても例示的であり限定するものではないというように考えられるべきである。したがってこの発明の範囲は前述の発明よりもむしろ添付の請求の範囲によって与えられる。この請求の範囲の解釈の意味および範囲内に入るすべての変更はその範囲内に含まれるものとする。

FIG. 1

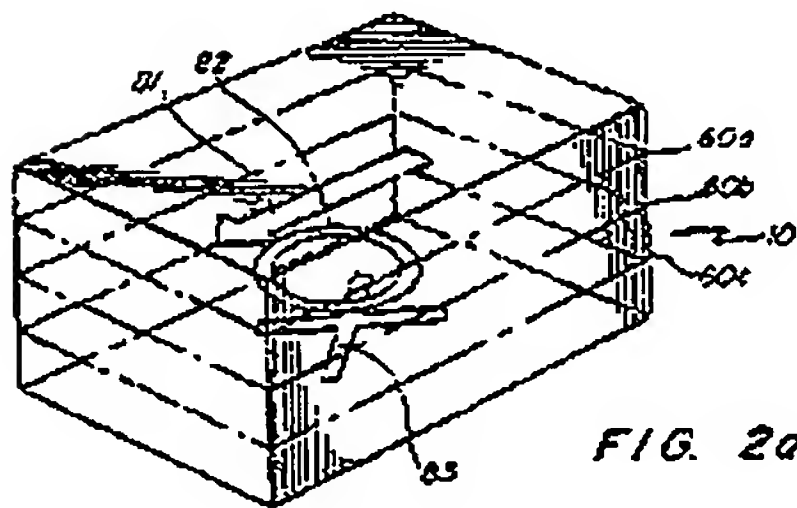
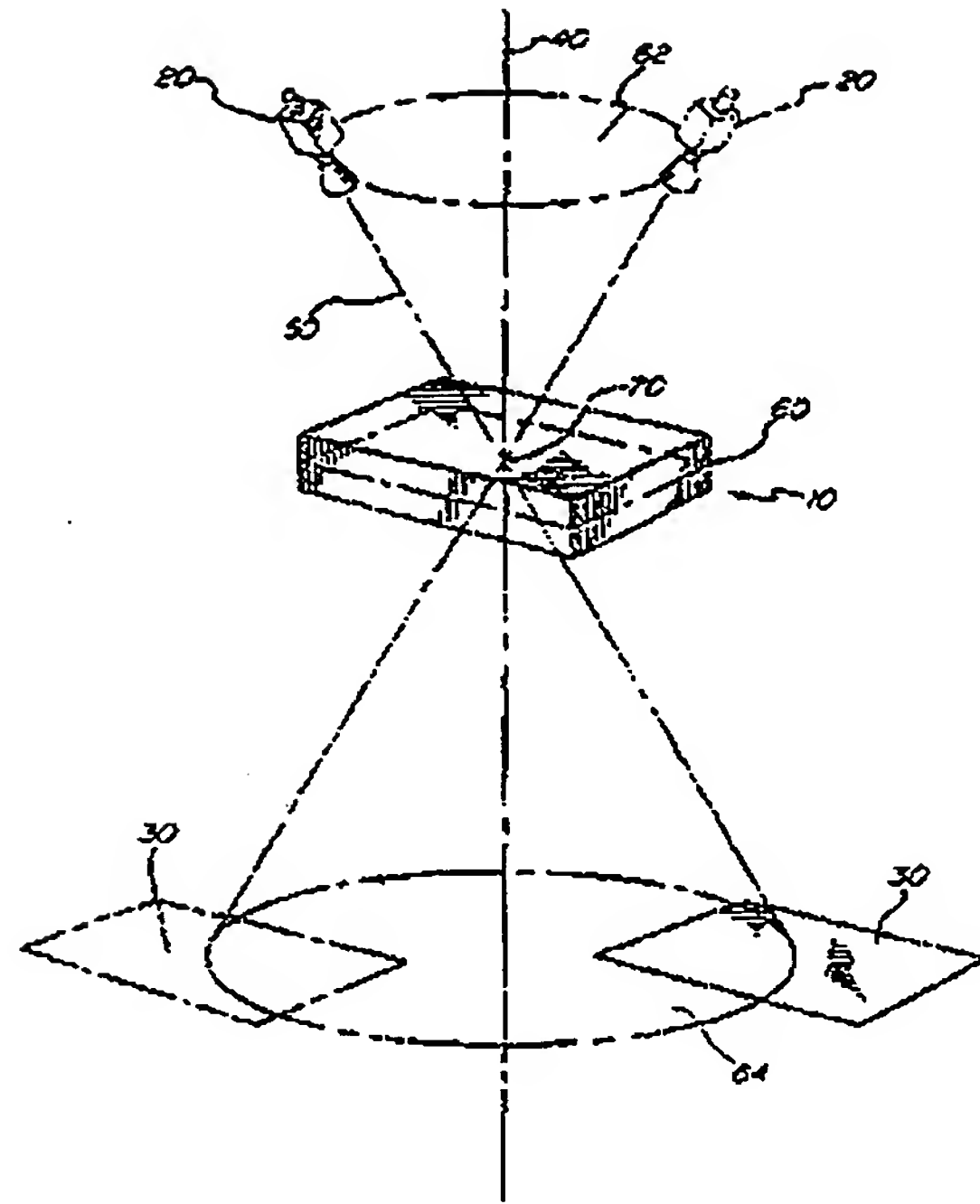


FIG. 2a

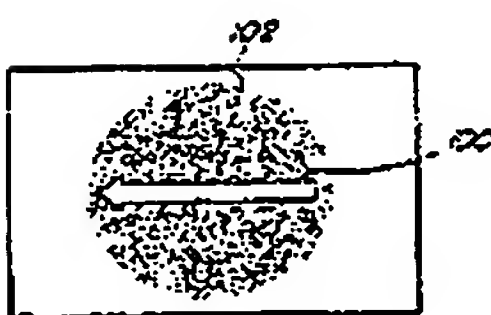


FIG. 2b



FIG. 2d

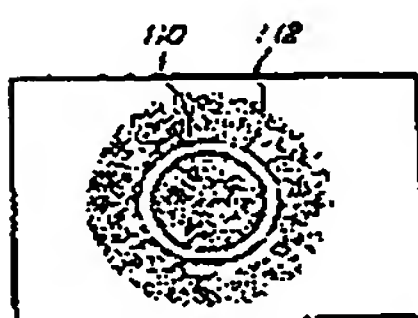


FIG. 2c

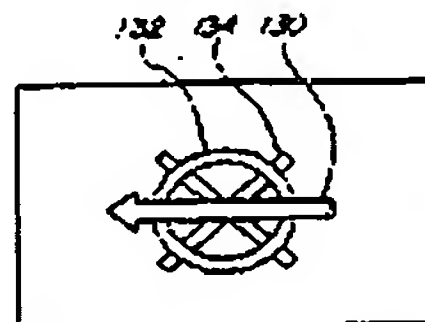


FIG. 2e

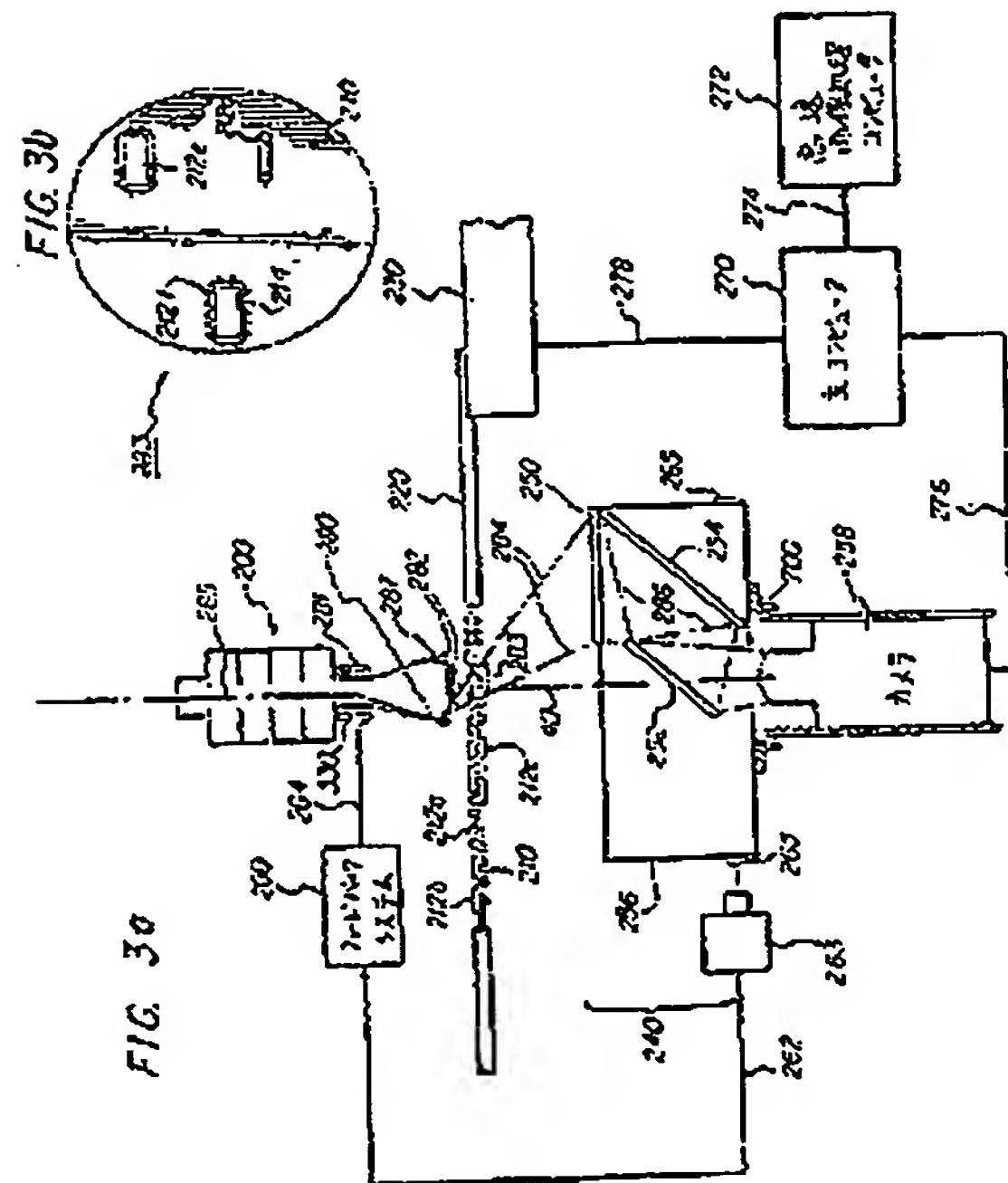


FIG. 3a

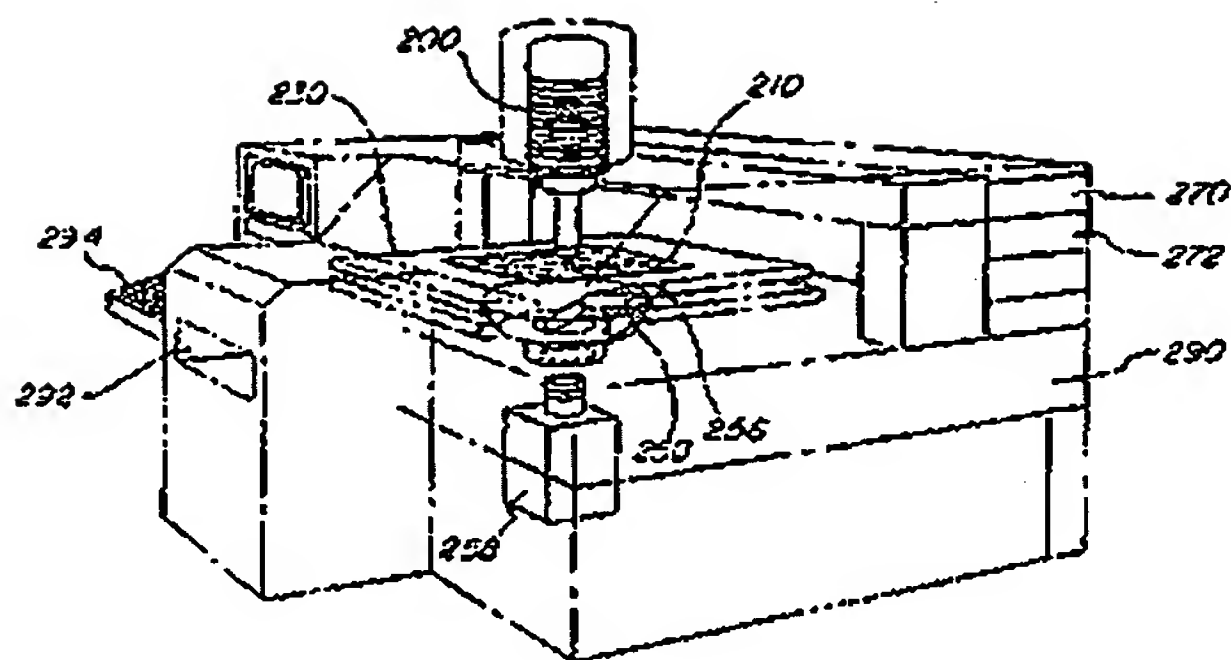


FIG. 3c

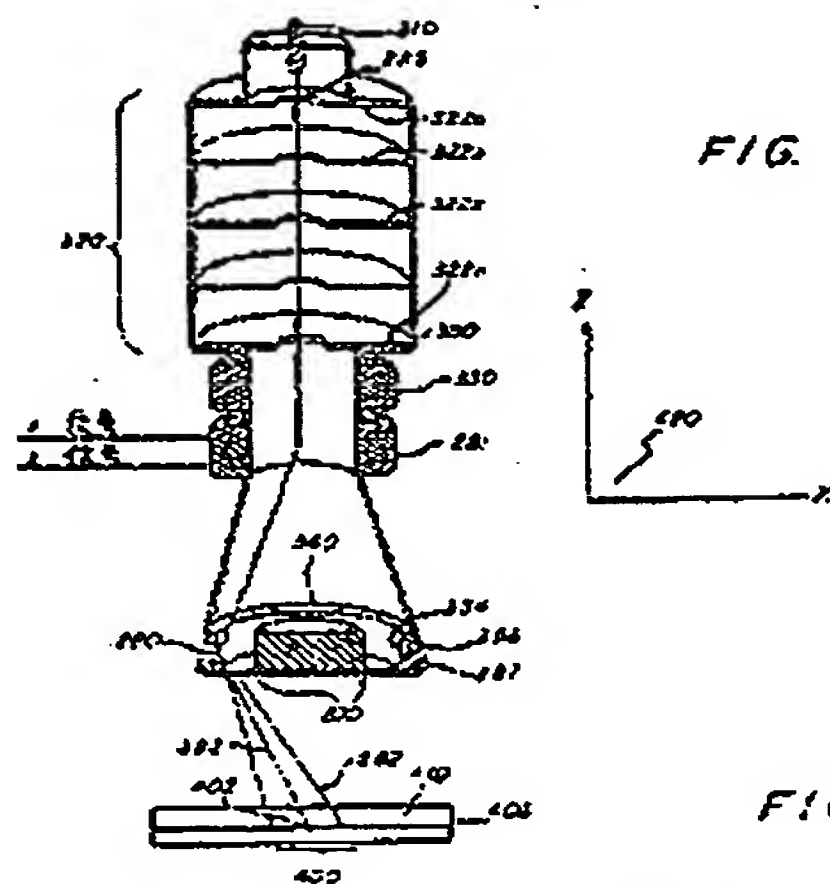


FIG. 4

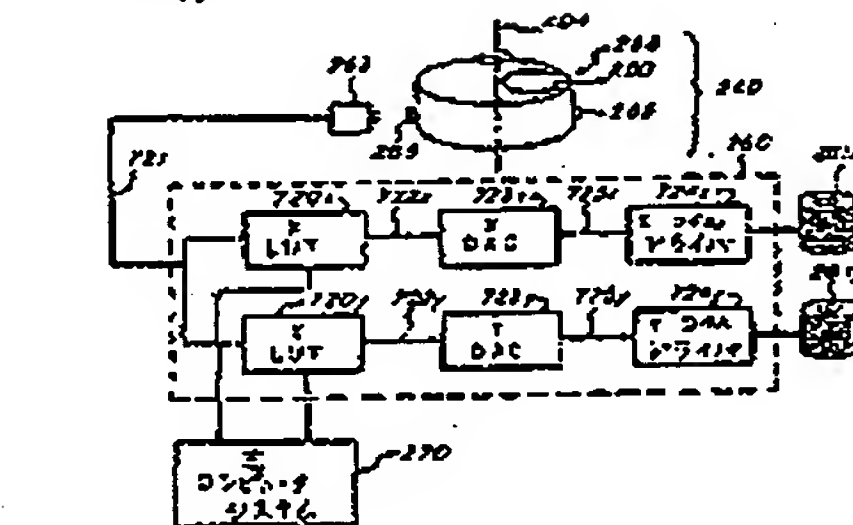


FIG. 8

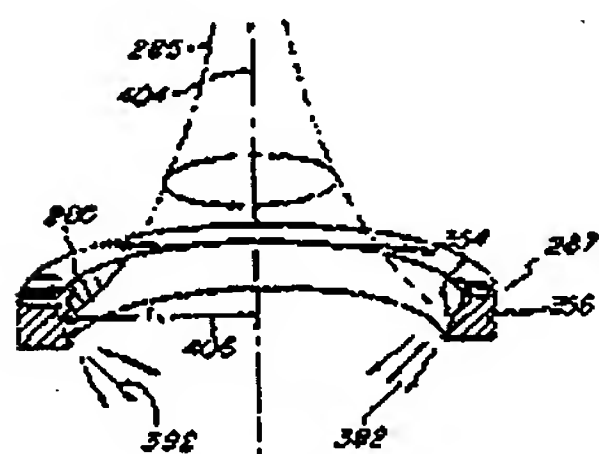


FIG. 5

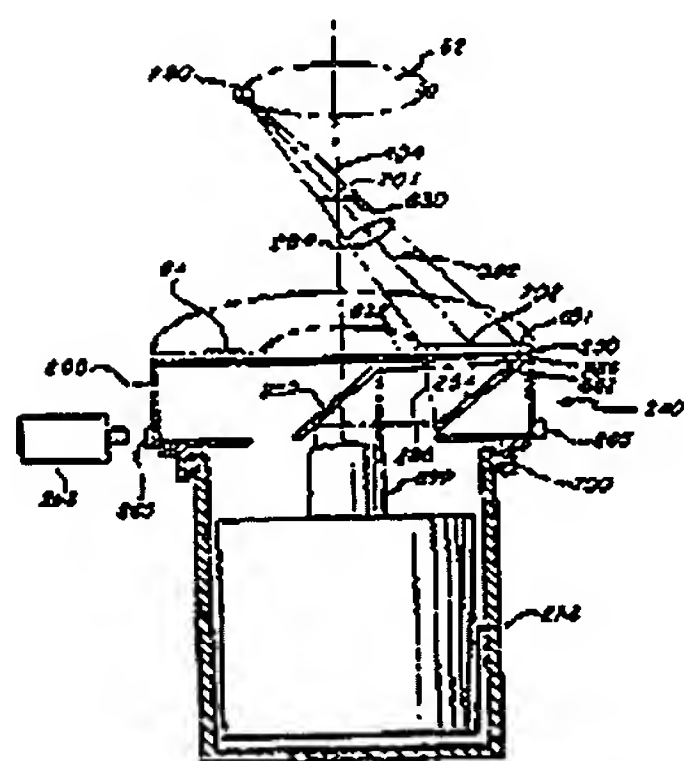


FIG. 6

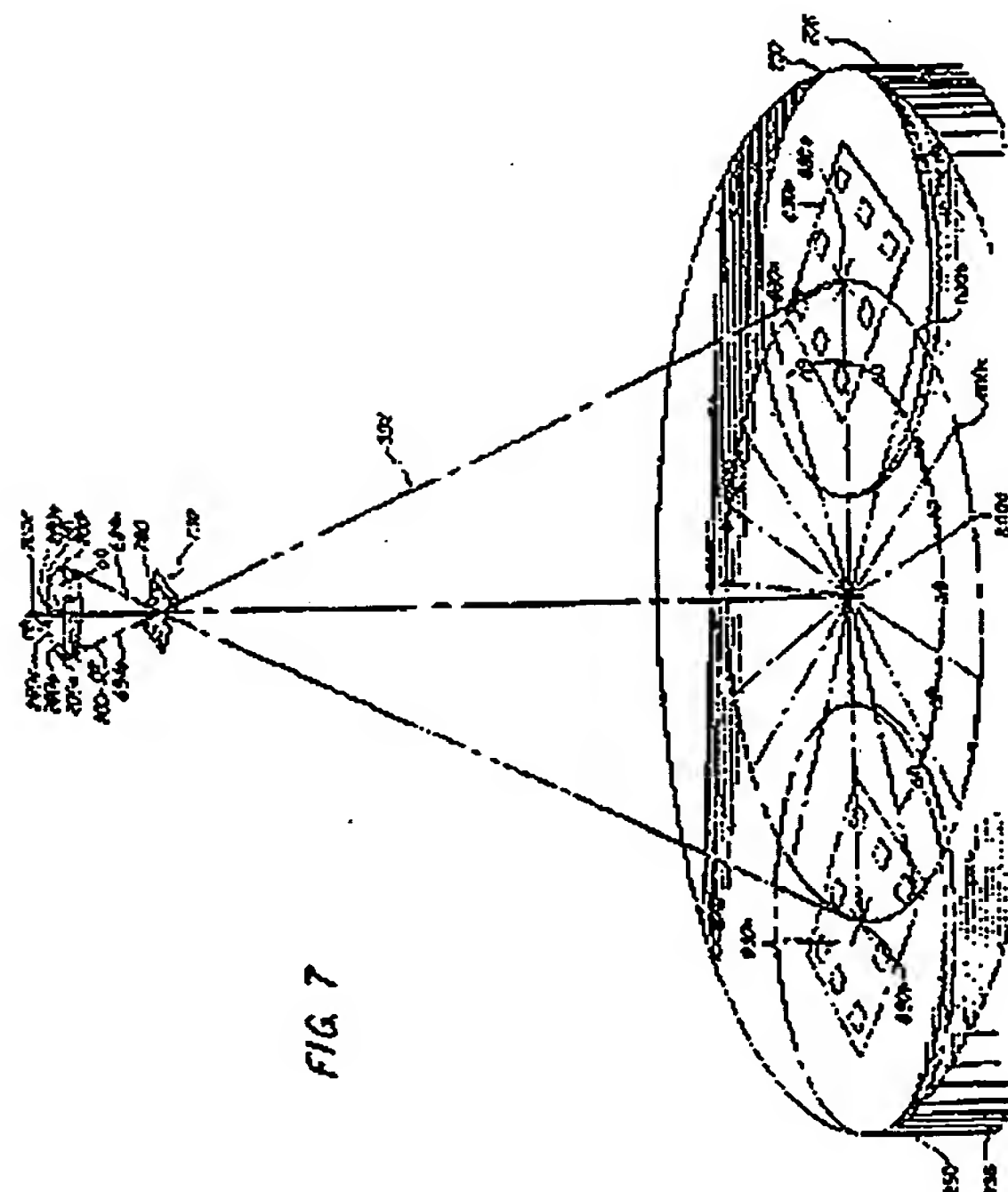


FIG. 7

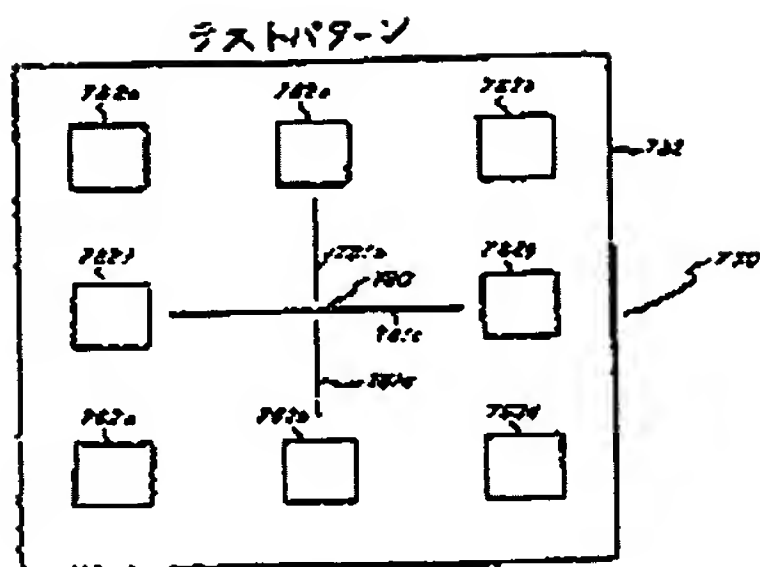


FIG. 9a

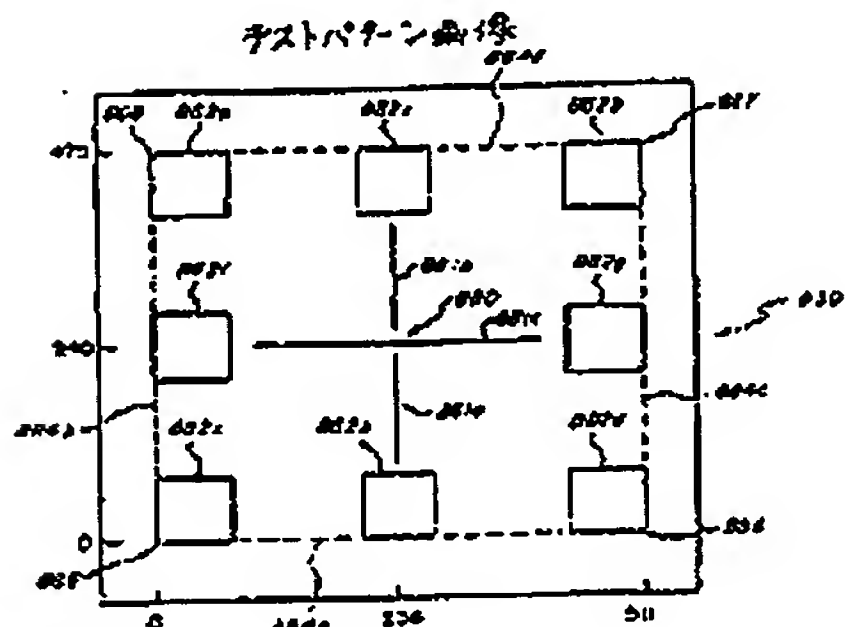


FIG. 9b

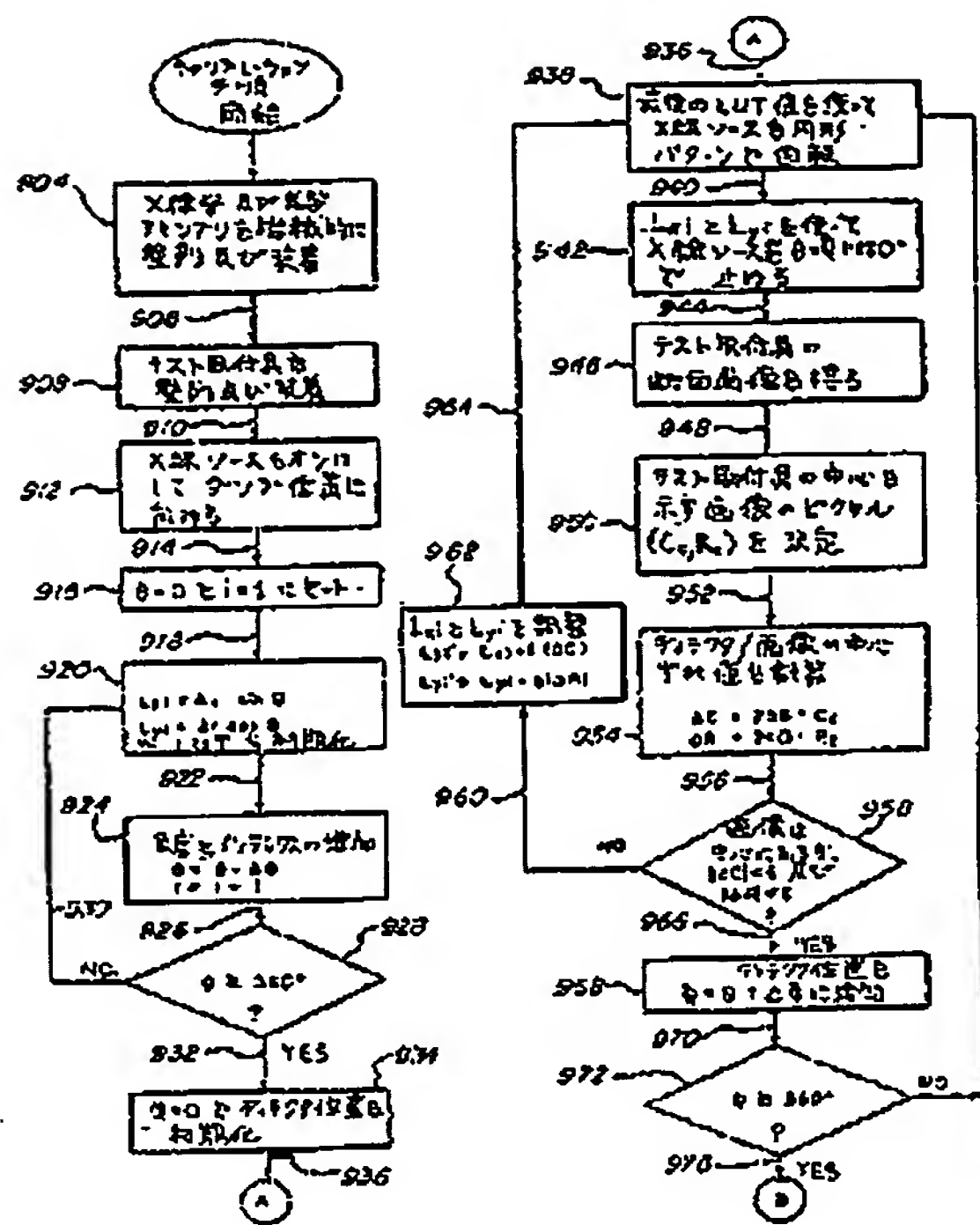


FIG. 100

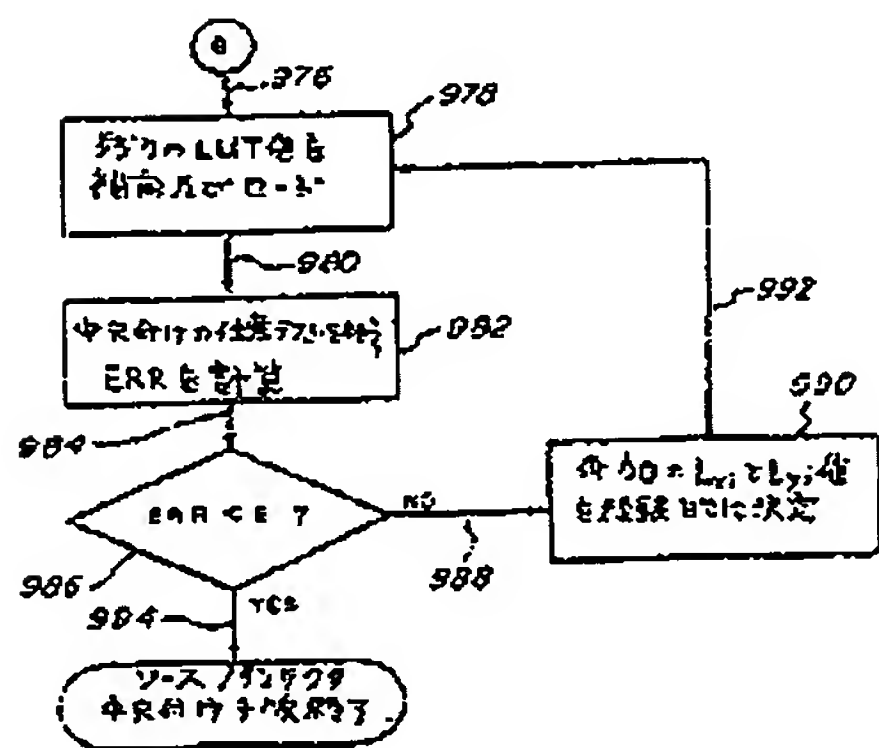


FIG. 10b

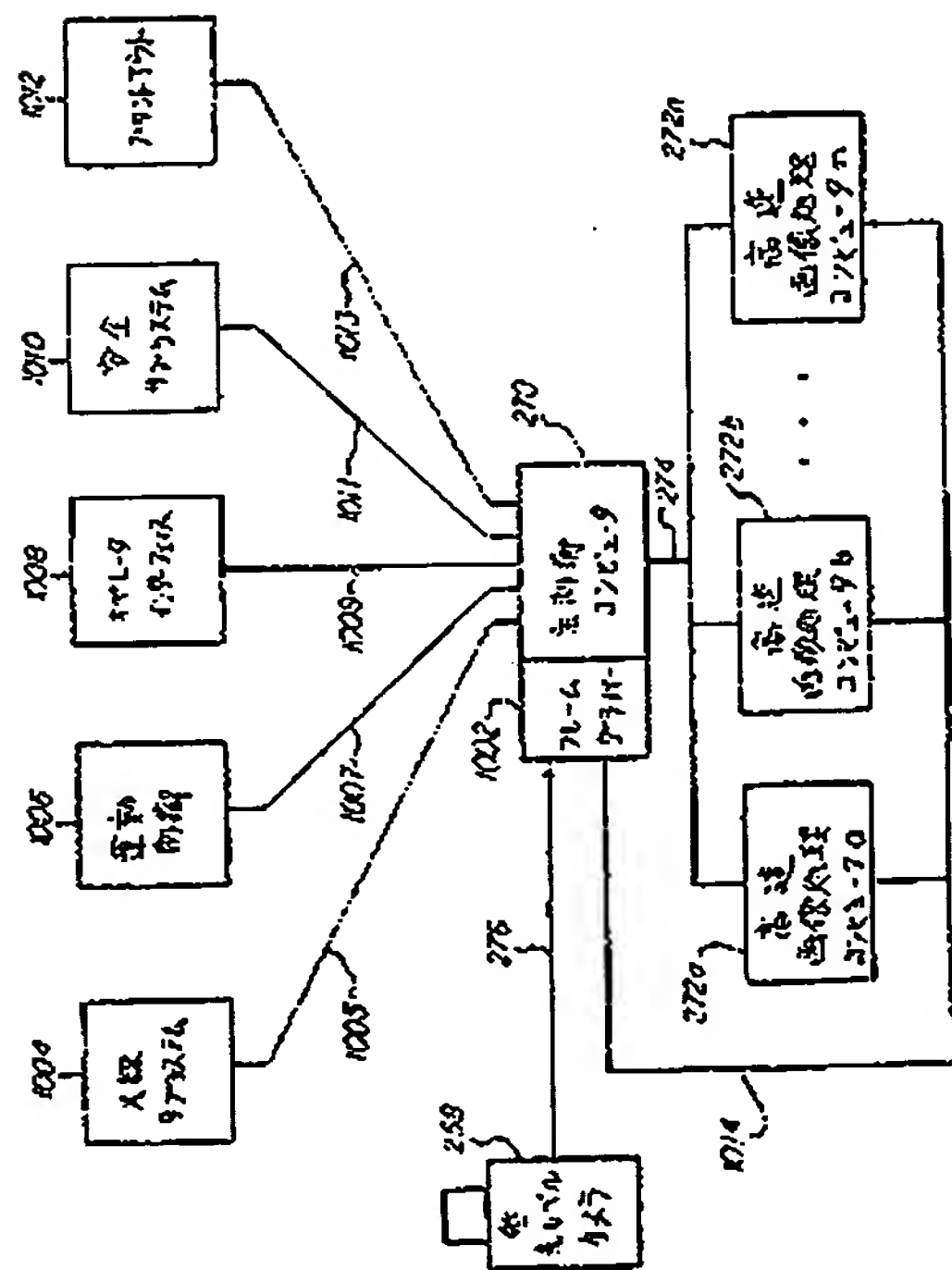


FIG. 11

FIG. 12

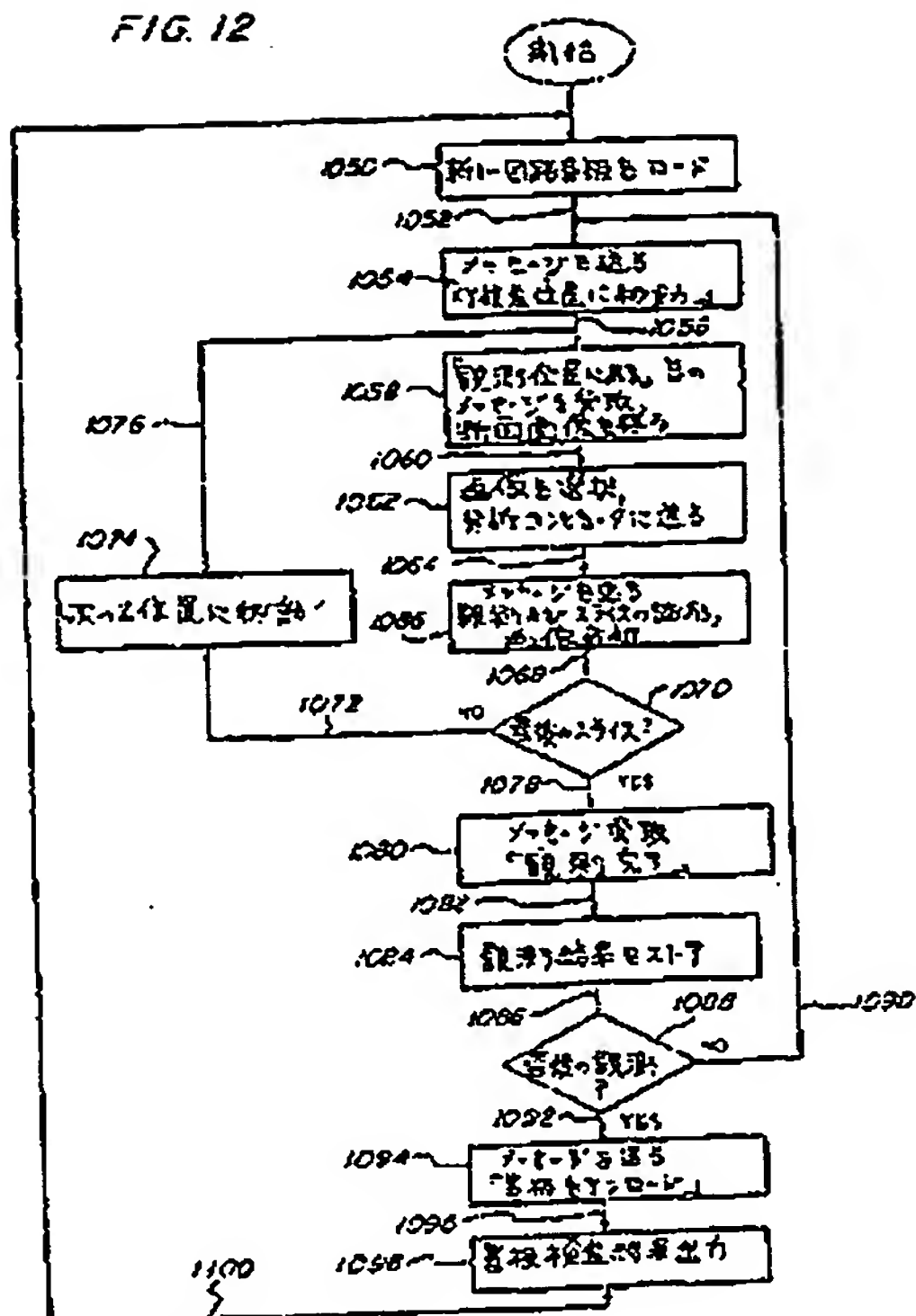


FIG. 13

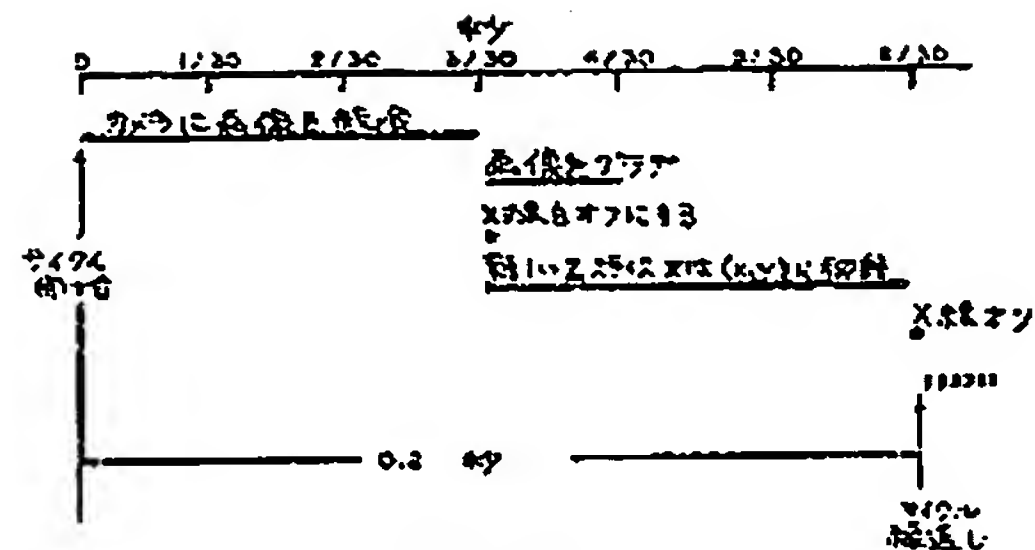


FIG. 14

2/17/68 30X.CC: 11:07

校舎報告

コントロリ モジナル P/M 30-222

5/4: 2-30-37119-118-39

家子	カフ	欠陥
U13	2, 3	線路
U15	5	溶かし, パート
U13	4	溶かし, パート
52	1	割れ目
517	1	チヤ分
518		欠落部品
519		不整列
5162	49	カフの上カ

FIG 15

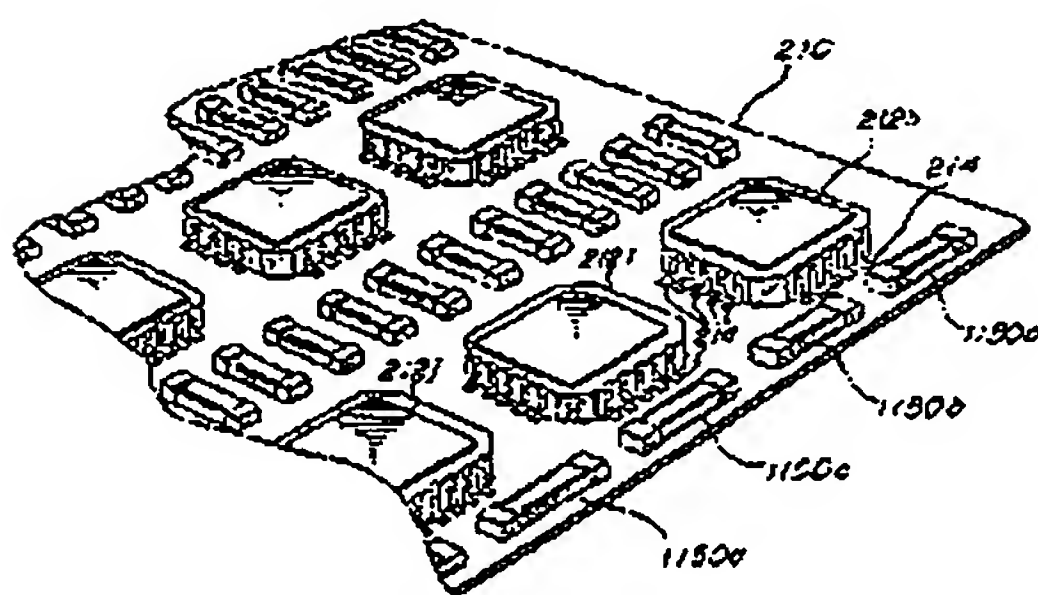


FIG. 1E

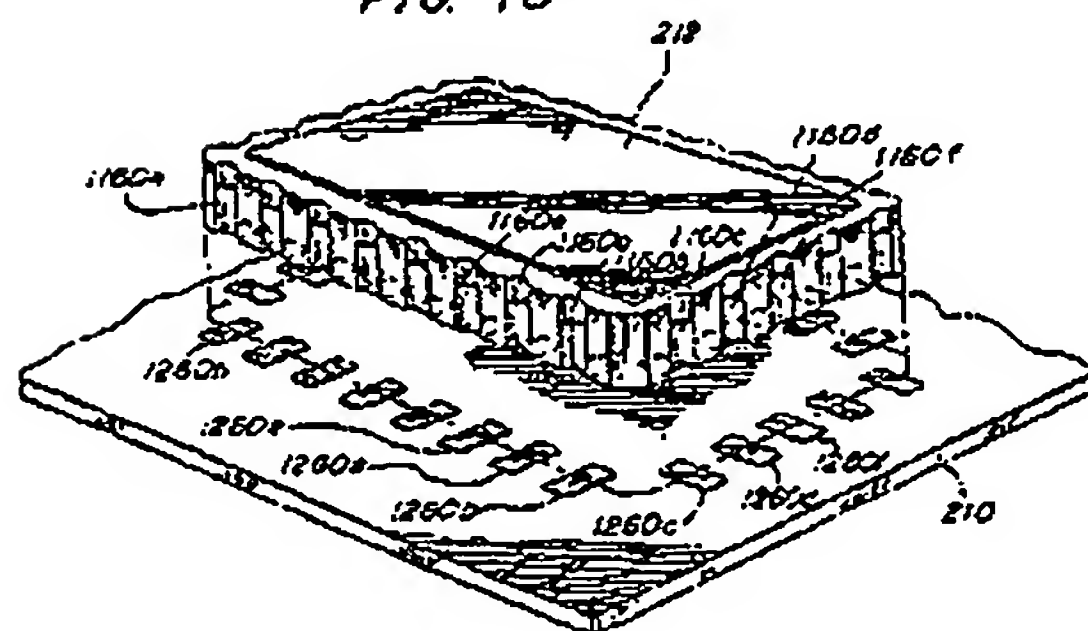


FIG. 17

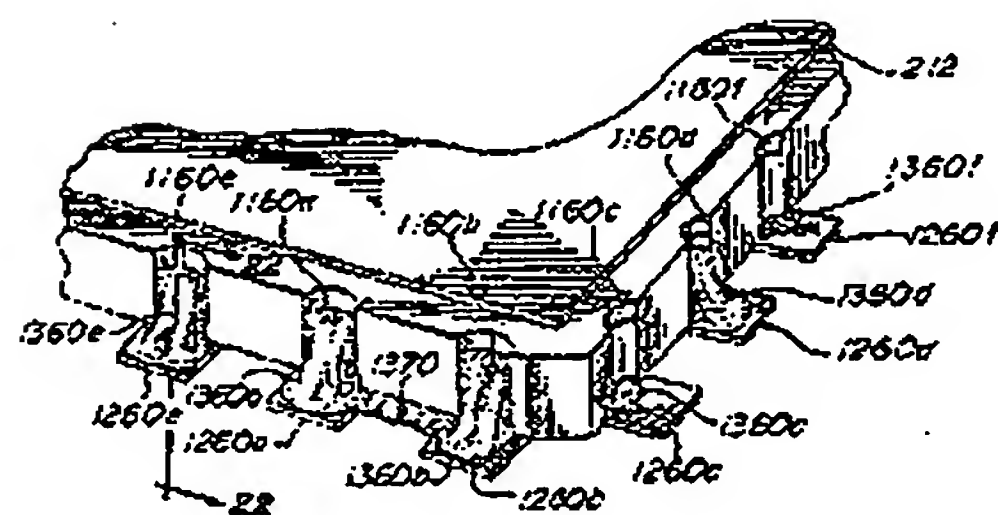
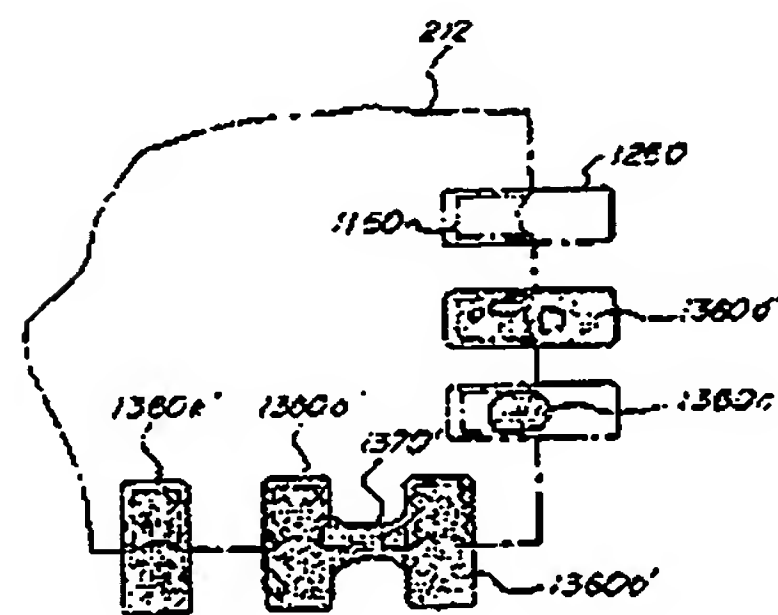
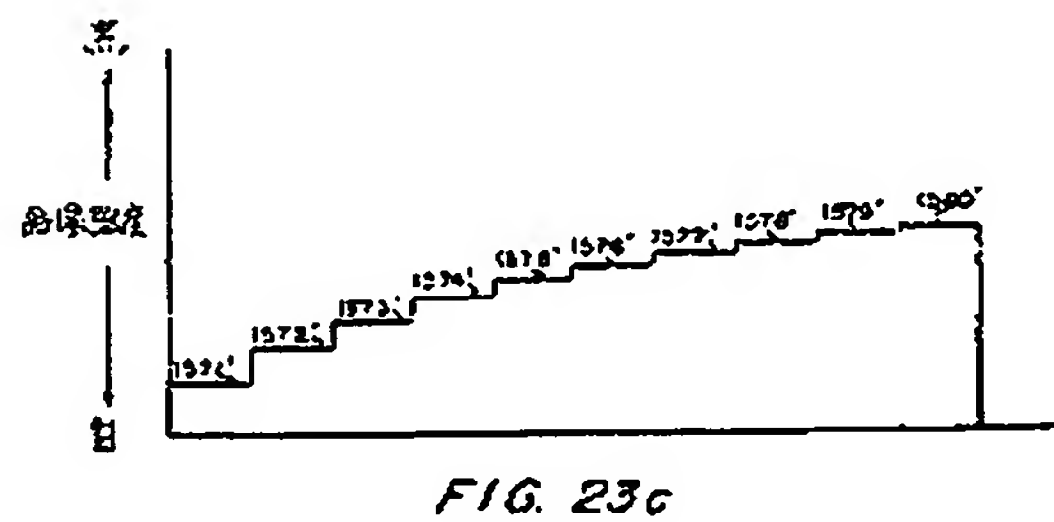
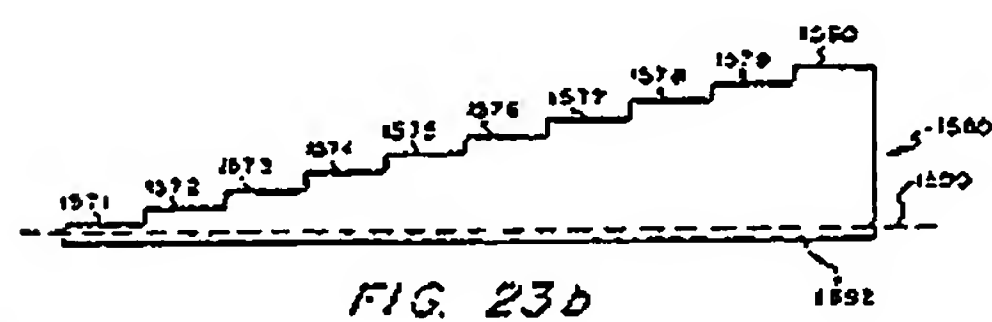
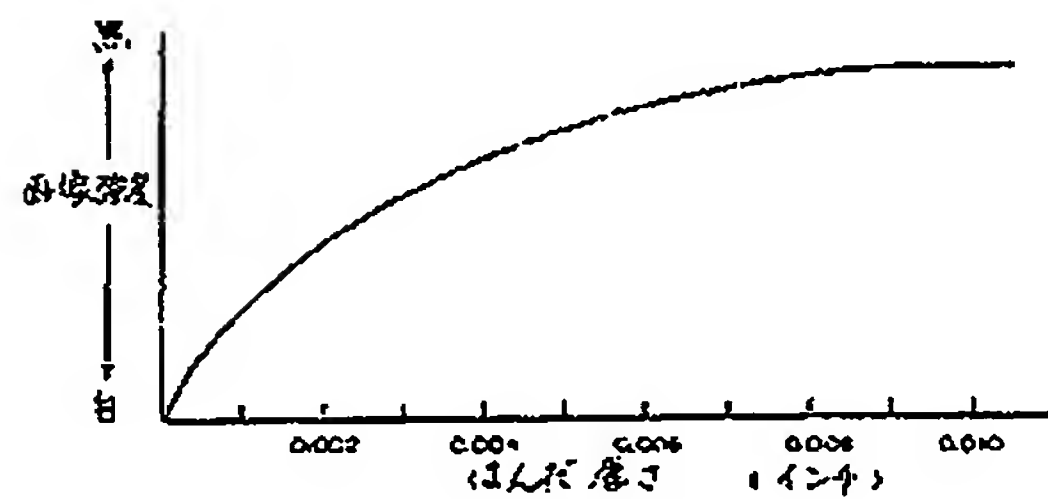
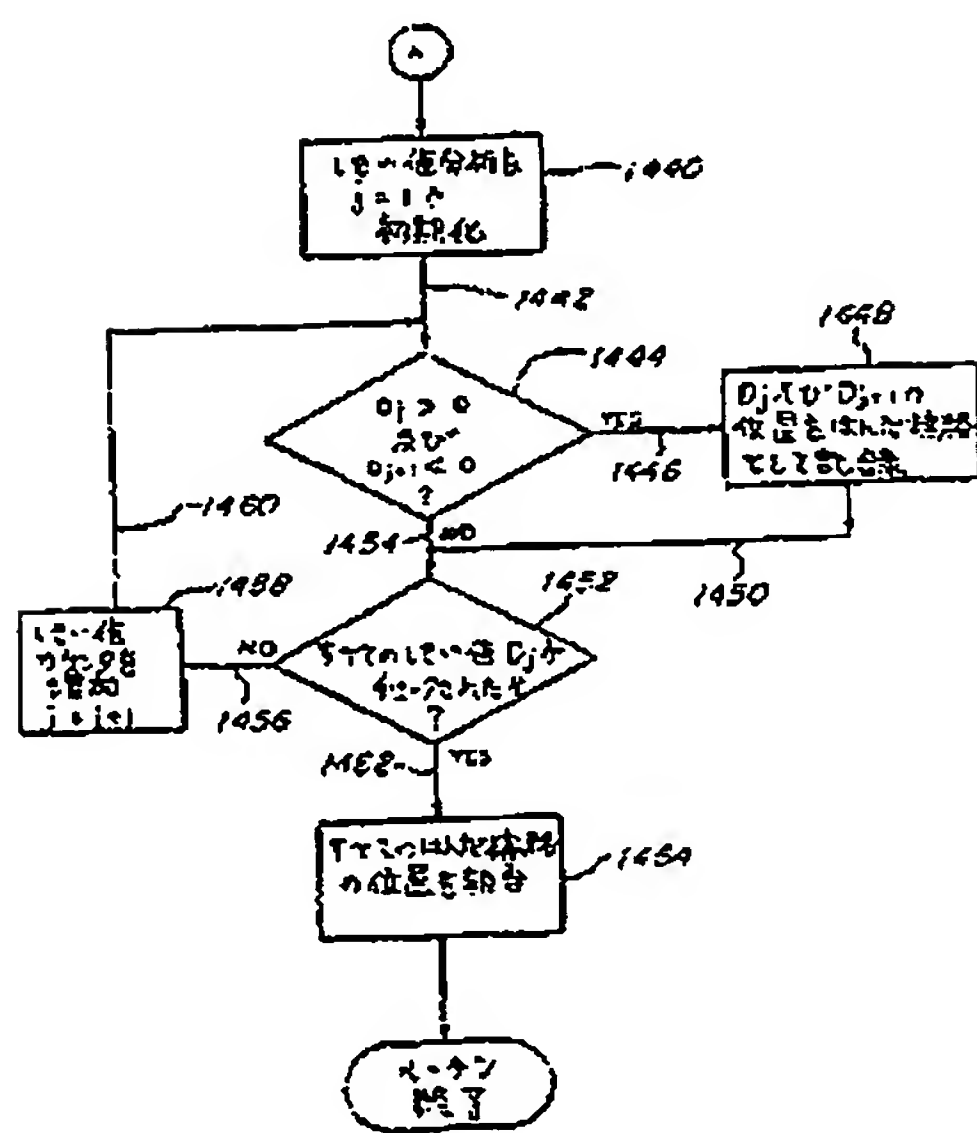
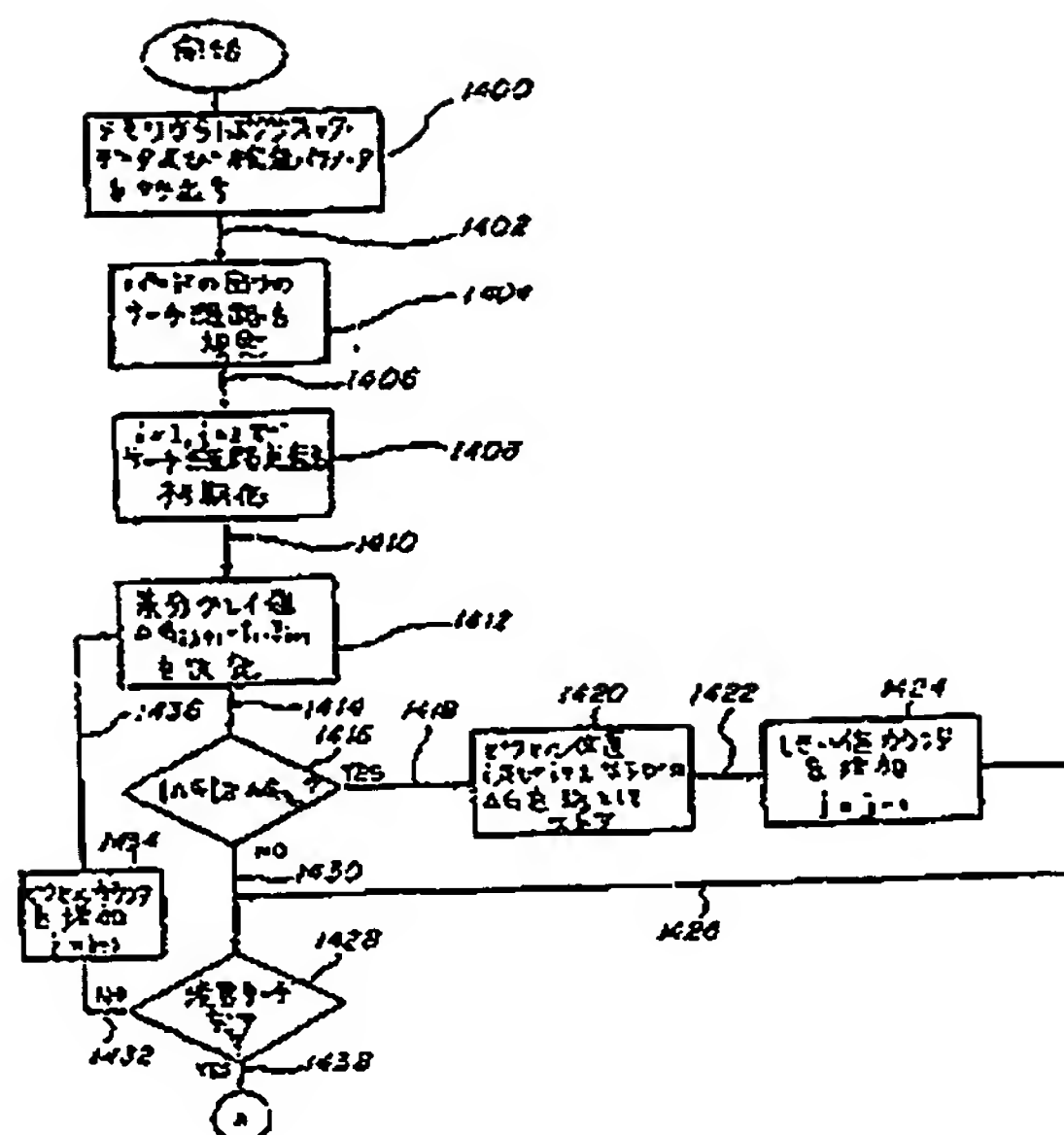
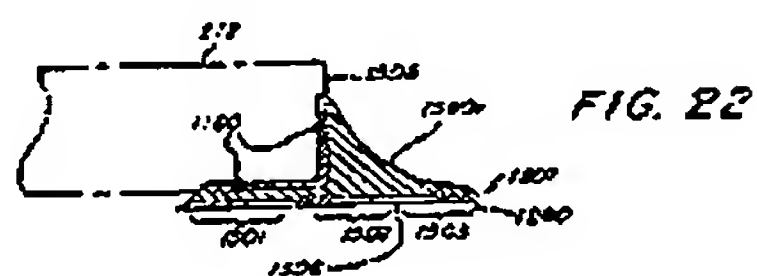
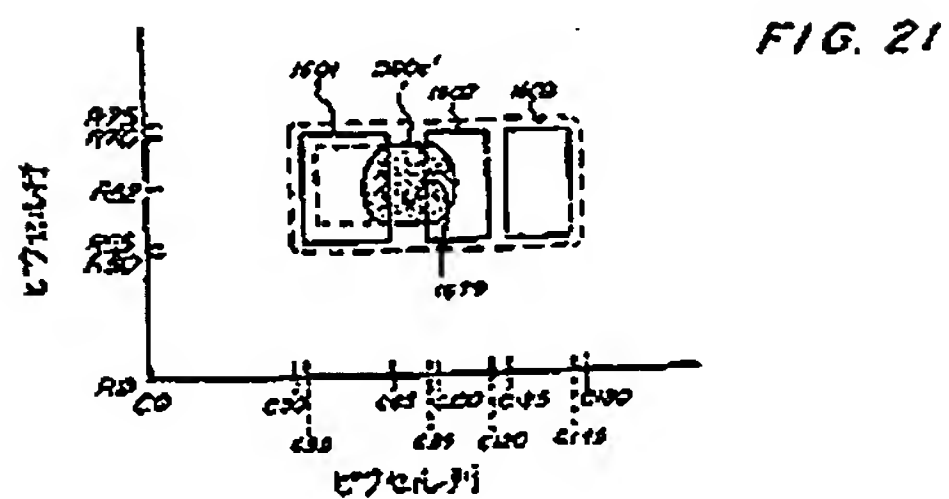
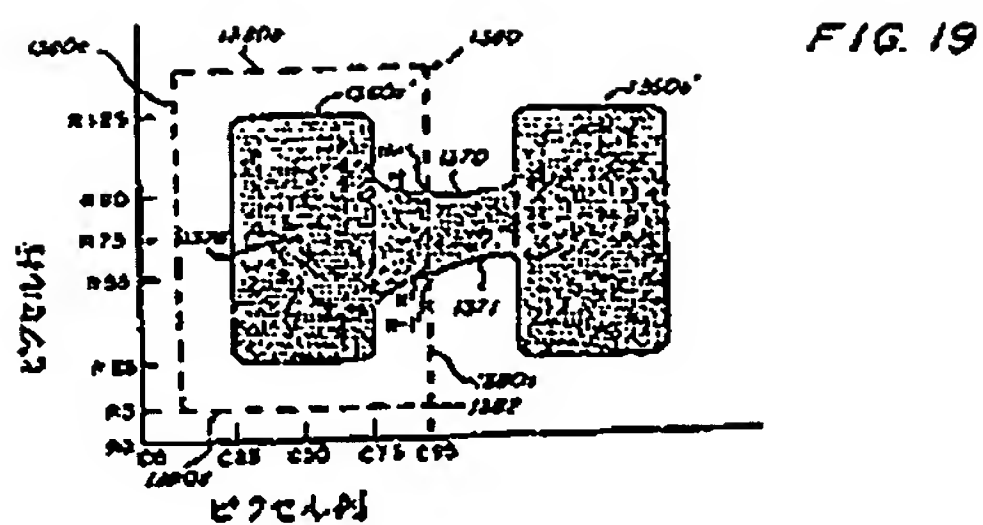
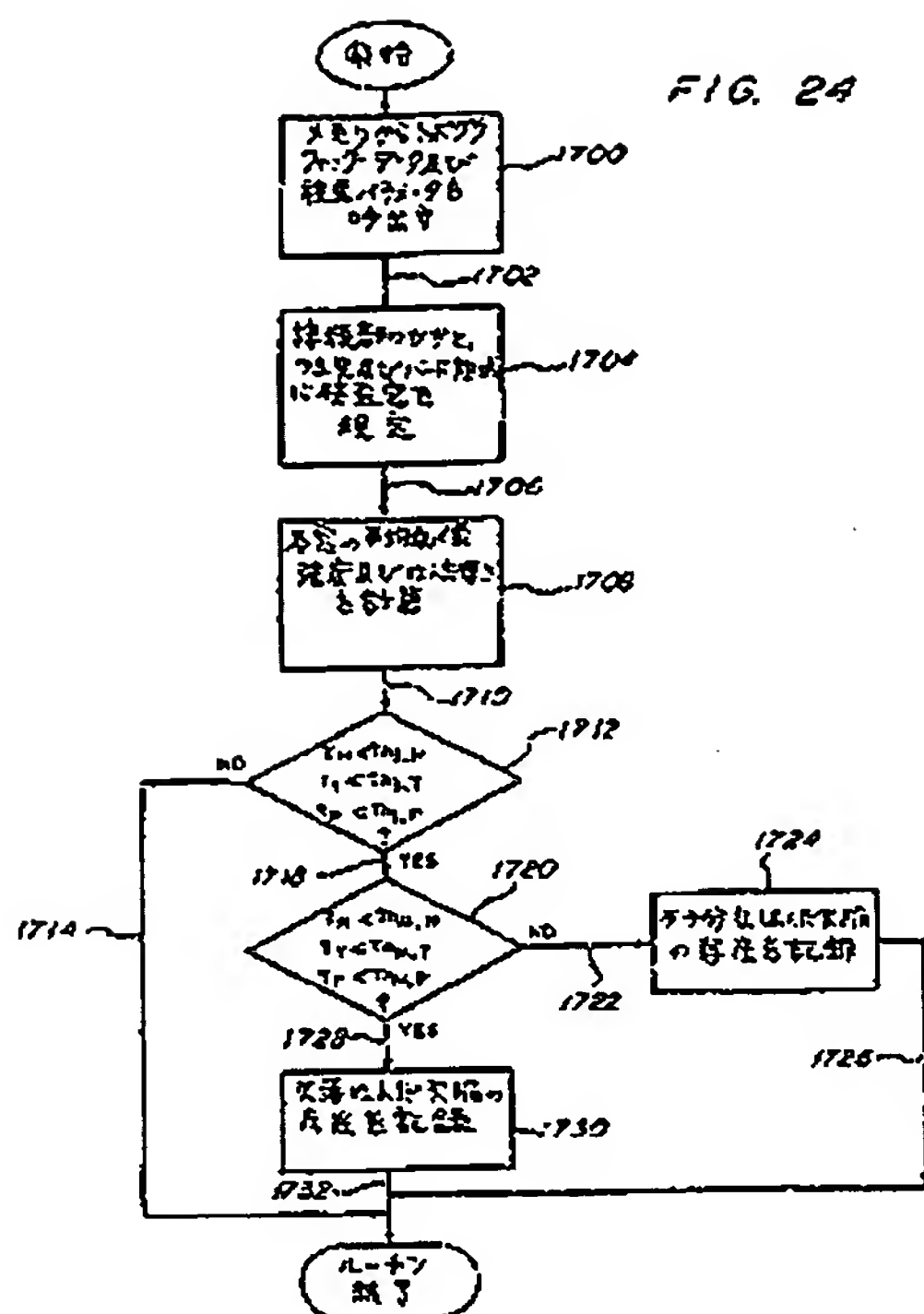


FIG. 18





平成2年1月16日 第1回



1. 事件の表示

2. 發明の名称

エレクトロニクスの投資のための自動タミノグラフィシステム

3. 増正をする時

事件との関係 特許出願人

セ 所 アメリカ合衆国、92127 カリフォルニア州

サン・ディエゴ、テクノロジー・プレイス、10905

名 称 ファー・ビー・アイ・システムズ・コーポレーション

代経費 コウリ、コンベート・エス、

4. 代理人

住 所 大阪市北区東船場2丁目1番29号 住友銀行西船場ビル

電話 大阪 (06) 361-2021 (代)

氏名 舟屋士 (6474) 深見久雄

5. 補正命令の交付

正捕死日

6. 校正の対象

明細書および図面

1. 修正の内容

（１）明創書の第２２頁第２４行の「断面放射線写真」を「ラミノグラフ」に補正致します。

(2) 明細書の第23頁第2行の「断面放射線写真」を「ラミノグラフ」に補正致します。

(3) 明細書の第37頁第3行の「半径r」を「半径r₁」に補正致します。

(4) 明細書の第45頁第14行の「720X」を「722X」に修正致します。

(5) 明細書の第60页第1行の「1012番
由で種々のサブシステム1004を」を「100
4から1012の種々のサブシステムを」に修正
致します。

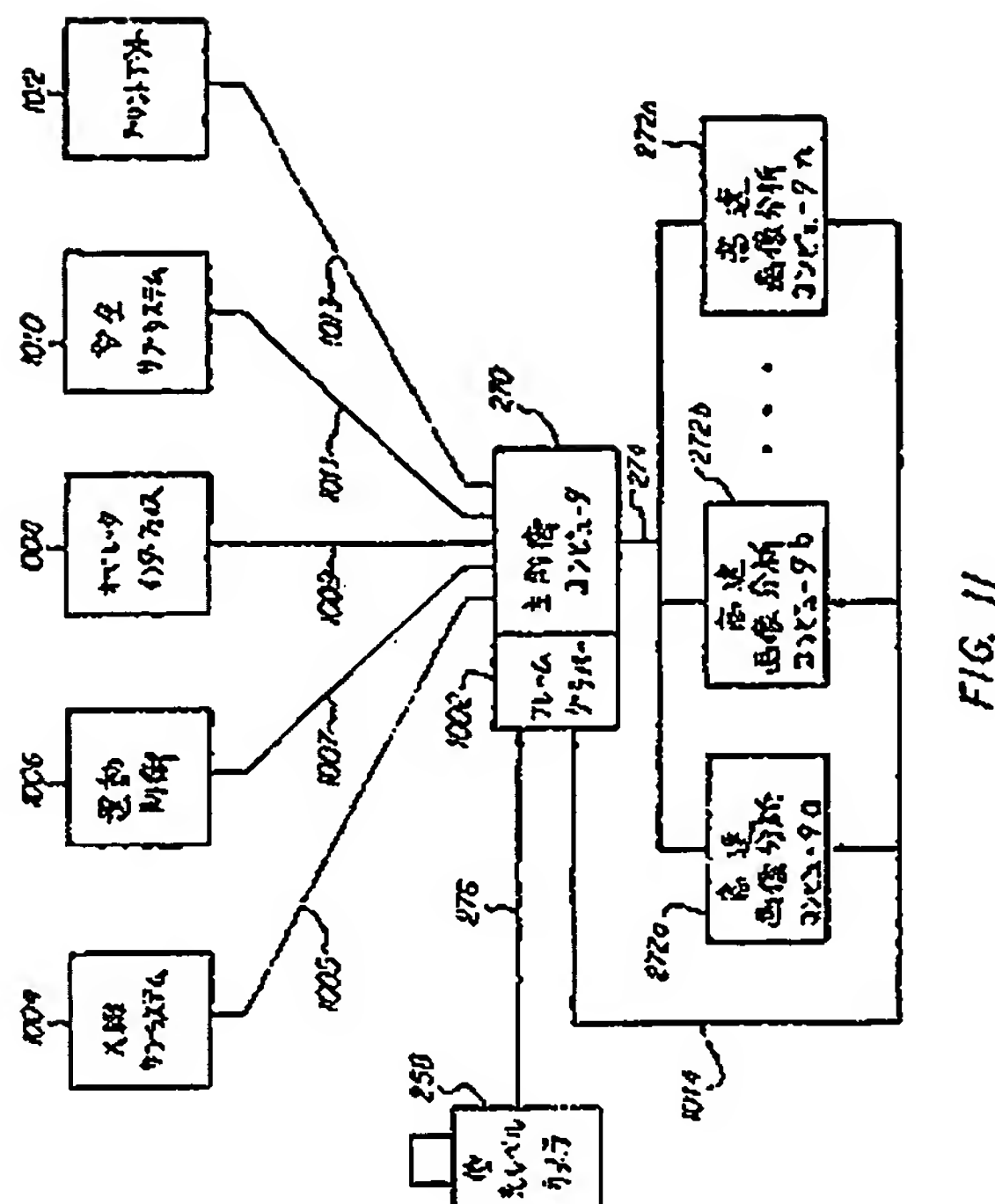
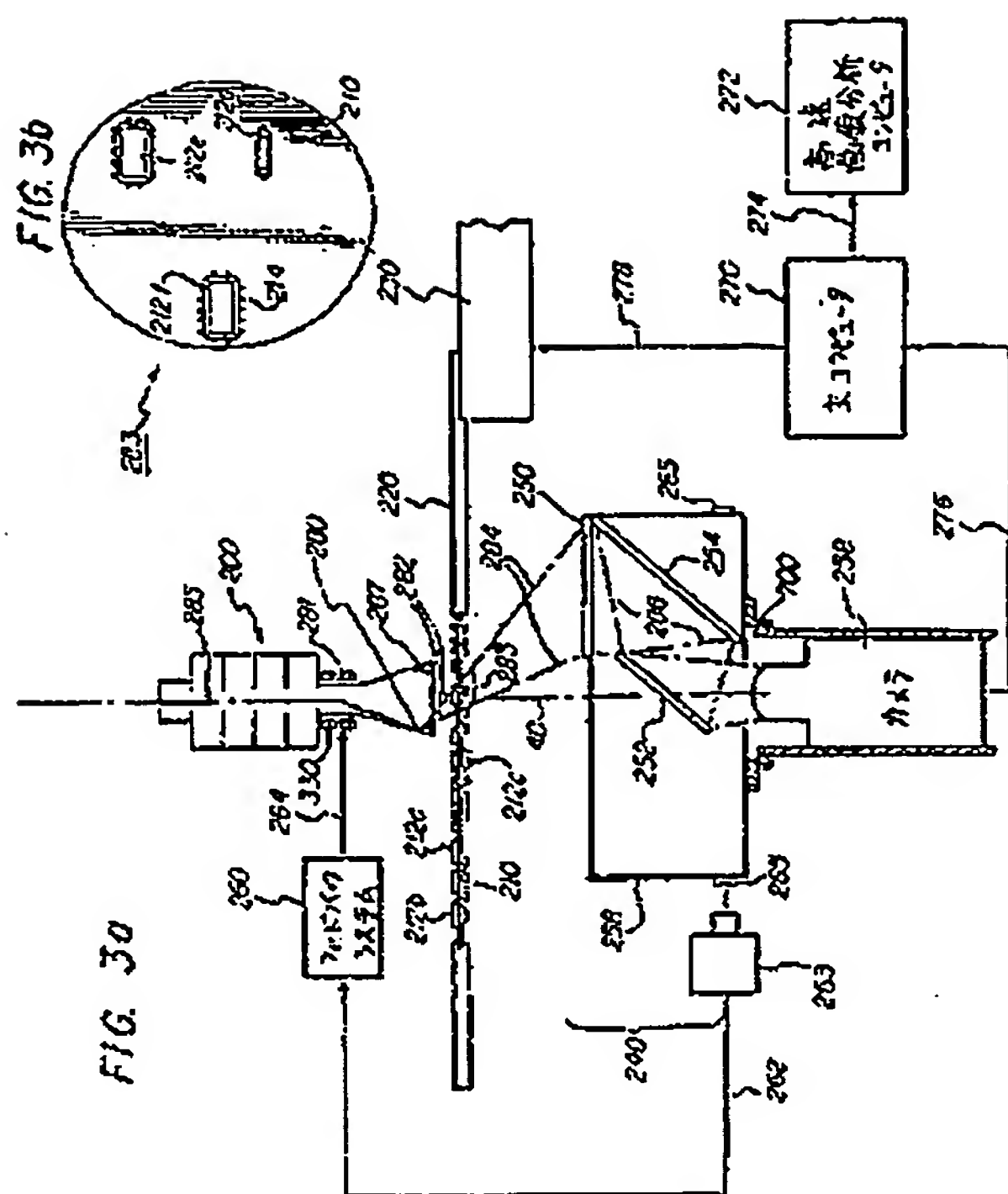
(6) 明細書の第75頁第4行の「 $I \Delta G_{k-1}$ 」を「 $I \Delta G_{k-1} \cdot x_i$ 」に修正致します。

(7) 図面の第 8 a 図を別紙のとおり補正致します。

〈 8 〉 図面の第 1 1 図を別紙のとおり補正致し

あす、

以上

[illegible]

INFORMATION CONTAINED HEREIN IS UNCLASSIFIED		PCT/0800/02423
DATE OF REVIEW AND AUTHORITY		REVIEWED BY
7-9	DE.B 1,106,611 (Sufis et al) 26 October 1942 see the entire document.	18-10,20 22-28 29-28, 28-10
7	US.A, 7,758,515 (Cancer) 29 August 1961 see the entire document.	7-10
7	US.A, 2,467,393 (Gardstein) 26 January 1950 see the entire document.	1-3, 5, 8, 11, 13, 14, 34-40 53-55

[illegible]

第1頁の続き

⑦発 明 者 アダムス、ジョン・エイ

◎ 著 明 著 コス，エドワード・ダブリュ

アメリカ合衆国、92025 カリフォルニア州 エスカンティード
ウ、ハリー・グループ・レーン、615

アメリカ合衆国、92026 カリフォルニア州 エスカンデイード
ウ、イーグル・ロツク・レーン、1328

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.